



# Modélisation et analyse des organisations sociales : propriétés structurelles, régulation des comportements et évolution

Paul Chapron

## ► To cite this version:

Paul Chapron. Modélisation et analyse des organisations sociales : propriétés structurelles, régulation des comportements et évolution. Système multi-agents [cs.MA]. Université Toulouse I, 2012. Français. NNT : . tel-00819498

**HAL Id: tel-00819498**

**<https://theses.hal.science/tel-00819498>**

Submitted on 5 May 2013

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Université  
de Toulouse

# THÈSE

En vue de l'obtention du

## DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE

Délivré par :

Université Toulouse 1 Capitole (UT1 Capitole)

Cotutelle internationale avec :

---

**Présentée et soutenue par :**

**Paul Chapron**

Le mardi 29 mai 2012

**Titre :**

Modélisation et analyse des organisations sociales : propriétés structurelles,  
régulation des comportements et évolutions

---

ED MITT : Domaine STIC : Intelligence Artificielle

**Unité de recherche :**

CNRS IRIT UMR 5505

**Directeur(s) de Thèse :**

Christophe Sibertin-Blanc

Françoise Adreit

**Rapporteurs :**

Cristiano Castelfranchi

Jacques Ferber

**Autre(s) membre(s) du jury :**

Thomas Debril

Guillaume Deffuant

René Mandiau

Modélisation et analyse des organisations sociales : propriétés structurelles, régulation des comportements et évolution.

Paul Chapron

## Résumé

Le travail présenté dans ce mémoire s'inscrit dans le cadre du projet SocLab, qui propose une formalisation de la sociologie de l'action organisée (SAO). Cette formalisation repose sur un méta-modèle de la structure des organisations sociales, à partir duquel il est possible de développer une étude analytique des propriétés d'une organisation et de simuler les comportements que les acteurs sont susceptibles d'adopter. On est alors en mesure de réaliser un diagnostic organisationnel qui, s'il est moins riche que dans l'expression discursive de la SAO, gagne en objectivation et en rigueur. Selon cette approche, une organisation est vue comme un système qui, en fonction du comportement des acteurs les uns vis-à-vis des autres, procure à chacun d'eux une certaine capacité d'action pour atteindre les objectifs qui lui sont propres. Un tel système est parcouru par deux boucles de régulation : une première, que l'on peut qualifier de fonctionnelle, selon laquelle les acteurs ajustent leurs comportements les uns par rapport aux autres afin d'obtenir une capacité d'action qui les satisfassent ; une seconde, qui relève de l'évolution endogène d'une organisation, selon laquelle les acteurs cherchent à modifier à leur avantage la structure même de l'organisation. L'utilisation du méta-modèle donne lieu à la représentation de la structure d'une organisation sous la forme d'une structure mathématique particulière, constituée d'ensembles, de fonctions et de relations. En mobilisant divers outils mathématiques, nous étudions l'influence de la structure d'une organisation sur chacune de ces deux boucles de régulation. On pourra par exemple, s'agissant de la régulation fonctionnelle, expliquer pourquoi les acteurs se comportent comme ils le font et détecter des coalitions, avérées ou potentielles, ou bien détecter dans quels directions un acteur pourrait tenter de modifier la structure de l'organisation. Plus généralement, l'étude mathématique de la structure d'une organisation nous permettra de définir un grand nombre d'indicateurs qui pourront être interprétés, à l'aide des concepts de la sociologie des organisations, comme autant de propriétés de l'organisation considérée.

The work presented in this dissertation is part of the SocLab project which proposes a formalisation of the Sociology of Organised Action (SOA). This formalisation is based on the use of a meta-model of the structure of social organisations, which enables an analytical study of an organisation's attributes as well as the simulation of the behaviours the organisation's actors might potentially adopt. This in turn allows an organisational diagnostic, which, though less rich than in a discursive expression of the SOA, gains in rigour and objectification. According to this approach, an organisation is seen as a system which, as a result of the actors' behaviour towards each other, procures for them a greater or lesser level of action capacity for reaching their own individual goals. Two regulation feedbacks run through this system : the first, which can be defined as functional, where actors adjust their behaviours towards one another so as to obtain a satisfactory level of action capacity ; and the second, which appertains to the endogenous evolution of the organisation, whereby the actors look to modify to their advantage the very structure of said organisation. Use of the meta-model leads to the representation of an organisation's structure as a particular mathematical construct composed of sets, functions and relations. By marshalling diverse mathematical tools, we have studied the influence of an organisation's structure on both of these regulation feedbacks. We can for example, regarding functional regulation, explain why actors behave as they do as well as detect real or potential coalitions ; also it is possible to detect in what ways an actor may attempt to modify the organisation's structure. In a more general sense, the mathematical study of the structure of an organisation will allow us to define a great number of indicators which will then be interpreted, with the help of the concepts of organisational sociology, as properties of the studied organisation.

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>9</b>
1.1	Contexte de la thèse . . . . .	9
1.1.1	La Sociologie de l'Action Organisée . . . . .	9
1.1.2	Formalisation de la SAO et simulation de la régulation des SAC . . . . .	10
1.2	Problématique de la thèse . . . . .	11
1.3	Approche retenue . . . . .	12
1.4	Organisation du document . . . . .	13
<b>2</b>	<b>Le concept d'organisation pour et par l'informatique</b>	<b>19</b>
2.1	Le concept d'organisation pour modéliser des systèmes multi-agents . . . . .	20
2.1.1	Les concepts de bases des modèles organisation-centrés . . . . .	20
2.1.2	Exemples de modèles organisation-centrés . . . . .	23
2.1.3	La dimension normative des modèles organisation-centrés . . . . .	26
2.1.4	Modèles organisation-centrés plus complexes . . . . .	27
2.2	La modélisation d'organisations pour le design et le diagnostic organisationsnel . . . . .	33
2.2.1	Évaluation de la performance de la structure d'organisations . . . . .	33
2.2.2	L'apprentissage organisationnel . . . . .	40
2.3	Questionnements sur les organisations sociales . . . . .	42
2.3.1	La dynamique d'une organisation . . . . .	42
2.3.2	L'articulation entre les individus et le collectif . . . . .	44
<b>3</b>	<b>Un méta-modèle des systèmes d'action concrets</b>	<b>48</b>
3.1	Le socle du méta-modèle des organisations . . . . .	49
3.1.1	Les ressources et leurs relations . . . . .	49
3.1.2	Les acteurs et leurs enjeux . . . . .	51
3.1.3	Capacité d'action et pouvoir d'un acteur . . . . .	53
3.1.4	Le jeu social . . . . .	53
3.2	Extensions du méta-modèle des organisations . . . . .	54
3.2.1	Contraintes sur l'état d'une relation . . . . .	54
3.2.2	Les contraintes entre relations . . . . .	55
3.2.3	Les solidarités . . . . .	56
3.2.4	Le contrôle partagé des relations . . . . .	56
3.2.5	Les interdépendances entre les impacts d'une relation sur un acteur . . . . .	57
3.3	Représentation matricielle d'un modèle de SAC . . . . .	58
3.4	Les indicateurs . . . . .	58
3.4.1	Capacité d'action et Pouvoir d'un acteur . . . . .	59
3.4.2	A propos de la terminologie et des notations . . . . .	60
3.4.3	Indicateurs relatifs aux relations . . . . .	60
3.4.4	Indicateurs relatifs aux acteurs . . . . .	62
3.4.5	L'équilibre des comportements au sein d'une dyade d'acteurs . . . . .	65
3.4.6	Indicateurs relatifs à l'organisation . . . . .	69
3.5	Les configurations remarquables d'une organisation . . . . .	69
3.6	L'étude analytique d'un modèle d'organisation . . . . .	71

3.6.1	Classement des acteurs selon les indicateurs structurels . . . . .	72
3.6.2	Détection de propriétés structurelles à l'aide d'indicateurs contextuels . . . . .	72
3.6.3	Exploration interactive de l'espace des configurations d'une organisation . . . . .	73
<b>4</b>	<b>Exemple de modélisation d'une organisation réelle : le cas Plan International</b>	<b>75</b>
4.1	Présentation de l'ONG <i>Plan International</i> . . . . .	76
4.1.1	Historique de Plan International . . . . .	76
4.1.2	Première analyse : de l'Assistancialisme à l'Empowerment . . . . .	80
4.2	Modélisation de la structure de l'organisation . . . . .	82
4.2.1	Contexte historique : de 1981 à 1985 . . . . .	82
4.2.2	Modèle 1 : la période 1986-1988 . . . . .	83
4.2.3	Modèle 2 : 1989 . . . . .	90
4.3	La rupture et la réorganisation : analyse de la période 1990-1994 . . . . .	92
<b>5</b>	<b>Les comportements des acteurs : analyse et simulation de la régulation</b>	<b>96</b>
5.1	Simuler la régulation des comportements pour explorer l'espace des configurations d'une organisation . . . . .	97
5.1.1	La régulation des comportements dans une organisation . . . . .	97
5.1.2	L'exploration des configurations d'une organisation par simulation . . . . .	98
5.2	Modèle et algorithme du comportement des acteurs sociaux . . . . .	98
5.2.1	L'hypothèse de rationalité limitée . . . . .	98
5.2.2	Le processus de décision . . . . .	99
5.2.3	Le méta-objectif des acteurs sociaux . . . . .	100
5.2.4	La simulation du jeu social . . . . .	100
5.3	L'algorithme d'apprentissage . . . . .	101
5.3.1	L'ambition et le dilemme exploration/exploitation . . . . .	101
5.3.2	Les paramètres psycho-cognitifs d'un acteur . . . . .	102
5.3.3	Les variables de l'algorithme . . . . .	103
5.3.4	L'algorithme de délibération d'un acteur . . . . .	103
5.4	Analyse des données produites par simulation . . . . .	105
5.4.1	Format des résultats de simulation . . . . .	105
5.4.2	Analyse univariée des données . . . . .	105
5.4.3	Recherche de liens cachés entre les données . . . . .	106
5.4.4	Les modes de fonctionnement d'une organisation . . . . .	111
5.5	Propriétés structurelles de la régulation d'une organisation. . . . .	111
5.5.1	Interprétation de la dispersion des résultats de simulation et de la longueur des simulations . . . . .	111
5.5.2	Détection de coalitions potentielles . . . . .	113
5.6	Étude du cas Plan International . . . . .	113
5.6.1	Analyse des données de satisfactions des acteurs . . . . .	113
5.6.2	Analyse des données des états des relations . . . . .	118
<b>6</b>	<b>Étude analytique de la fonction de transfert d'une organisation</b>	<b>122</b>
6.1	L'organisation comme machine à produire de la capacité d'action . . . . .	123
6.2	La fonction de transfert d'une organisation et ses projections . . . . .	124
6.2.1	De la matrice d'impacts à la capacité d'action des acteurs . . . . .	124
6.2.2	De la matrice d'impacts au pouvoir des acteurs . . . . .	126
6.2.3	L'opérateur d'agrégation . . . . .	126
6.2.4	Autre cas particulier : agrégation par le maximum . . . . .	127
6.2.5	Autres opérateurs d'agrégation . . . . .	127
6.3	Outils d'analyse des champs scalaires . . . . .	128
6.3.1	Analyse par approximation linéaire d'une fonction vectorielle . . . . .	128
6.3.2	Caractéristiques de la morphologie d'un champ scalaire . . . . .	128
6.4	Caractéristiques de la morphologie d'un champ de capacité . . . . .	130

6.4.1	Éminences, dépressions et îlots d'un champ de capacité . . . . .	130
6.4.2	Calcul de la taille d'un îlot . . . . .	131
6.4.3	Calcul analytique de la taille d'un îlot . . . . .	131
6.4.4	Exemple simple de calcul de la taille d'un îlot de capacité . . . . .	132
6.5	Modèle canonique d'une organisation . . . . .	133
6.5.1	Fonctions d'effet et impacts résultants . . . . .	133
6.5.2	Exemple de transformation d'un modèle d'organisation en modèle canonique .	134
6.5.3	Interprétation du jacobien de la matrice du modèle canonique d'une organisation	135

## **7 Chapitre 7 : Analyse et interprétation de la topographie des paysages de capacité d'action 138**

7.1	Des configurations d'une organisation aux situations auxquelles elles donnent lieu . . .	139
7.2	Appréciation des différents types de situations . . . . .	140
7.2.1	Appréciation d'une situation pour un acteur . . . . .	140
7.2.2	Appréciation d'une situation de l'organisation . . . . .	141
7.3	Paysages d'une organisation . . . . .	141
7.3.1	Les secteurs caractéristiques du relief d'un paysage . . . . .	142
7.3.2	Interprétation dans le cas d'un paysage de satisfaction d'un acteur . . . . .	143
7.3.3	Interprétation dans le cas du paysage de capacité d'action globale d'une organisation . . . . .	144
7.4	A propos de la représentation graphique des paysages . . . . .	144
7.5	Lien entre régulation des comportements et paysages de satisfaction des acteurs . . . .	146
7.5.1	Stabilité d'une configuration . . . . .	146
7.5.2	Conflits et convergences d'intérêt . . . . .	147
7.5.3	Les conflits structurels . . . . .	149
7.5.4	Disparité entre la capacité d'action et la satisfaction d'un acteur . . . . .	149
7.6	Paysages globaux et potentialités de la structure d'une organisation . . . . .	151
7.6.1	La taille des îlots de bonne capacité et contraintes imposées par l'organisation	151
7.6.2	Propositions pour le choix du niveau définissant les îlots satisfaisants . . . . .	154
7.6.3	Interprétation du jacobien de la fonction de transfert du modèle canonique d'une organisation . . . . .	154
7.7	Application au cas Plan International . . . . .	155
7.7.1	Notations . . . . .	155
7.7.2	Modèle 1 . . . . .	155
7.7.3	Modèle 2 . . . . .	160
7.7.4	Calculs d'îlots dans les paysages de satisfaction des acteurs de Plan International	162
7.8	Analyse structurelle des réseaux de pouvoirs . . . . .	164
7.8.1	Pouvoir et Centralités dans un réseau social . . . . .	165
7.8.2	Analyse des réseaux de pouvoir extraits d'un modèle d'organisation . . . . .	165
7.8.3	Équivalence structurelle dans un réseau de pouvoir . . . . .	166

## **8 Évolution de la structure d'une organisation 168**

8.1	La nature des évolutions envisageables de la structure d'une organisation . . . . .	169
8.1.1	Ce que dit la SAO . . . . .	170
8.1.2	Les circonstances de l'évolution structurelle endogène . . . . .	171
8.1.3	L'évolution structurelle endogène par la modification des paysages . . . . .	171
8.1.4	Érosion des paysages et routinisation de l'organisation . . . . .	173
8.2	Éléments pour la simulation de l'évolution structurelle . . . . .	174
8.2.1	«La raison qui pousse à agir dit aussi comment faire» . . . . .	175
8.2.2	Quelques exemples de mobiles et les indicateurs associés . . . . .	176
8.2.3	Formation de coalitions sur la base des similarités d'intérêts des acteurs . . . .	177
8.3	Simulation de l'évolution structurelle des organisations par la modification des enjeux	177
8.3.1	Objectifs et principes de la simulation de l'évolution . . . . .	178
8.3.2	Caractérisation de la perception et de l'action des acteurs . . . . .	179

8.3.3	Approche préliminaire : répartition aléatoire des enjeux . . . . .	179
8.3.4	Approche par recuit simulé . . . . .	183
8.3.5	Approche par apprentissage . . . . .	187
8.3.6	Approche par des acteurs utilisant davantage d'information . . . . .	189
8.3.7	Modification des enjeux des autres acteurs . . . . .	189
8.4	Conclusion . . . . .	191
<b>9</b>	<b>Conclusion</b>	<b>192</b>
9.1	Apports de la thèse . . . . .	192
9.2	Limites . . . . .	193
9.2.1	Interprétation, représentation et calcul d'îlots : le problème de la dimension .	193
9.2.2	Apprentissage et simulation des évolutions endogènes dans des espaces de grande dimension . . . . .	194
9.3	Perspectives . . . . .	194
9.3.1	Tirer parti des outils d'analyse structurelle pour la simulation des évolutions endogènes . . . . .	194
9.3.2	D'autres rationalités pour les acteurs . . . . .	195
9.3.3	Institutionnaliser la régulation : un nouvel objectif pour les acteurs . . . . .	195
9.3.4	Vers une vision thermodynamique des organisations . . . . .	195
<b>10</b>	<b>Annexes : Scripts de traitements utilisés</b>	<b>202</b>
10.1	Script Python de calcul des gradients, synergies et co-dépendances . . . . .	202
10.2	Script Python qui réalise l'ACP pour les résultats de simulation . . . . .	214



# Table des figures

1.1	La double influence de la stratégie des acteurs et de la structure d'une organisation sur son actualisation . . . . .	11
1.2	L'organisation vue comme un système qui produit une situation régulée, en fonction de sa structure et des comportements possibles des acteurs . . . . .	12
2.1	Critères d'évaluation de différents modèles d'organisation utilisés dans [Lacomme, 2011]	22
2.2	Place des constituants des SMA dans les quatre quadrants de la vision intégrale de Wilber (selon [Tranier, 2007]) . . . . .	22
2.3	Méta-modèle UML d'AGR (tiré de [Ferber et al., 2004]) . . . . .	23
2.4	Le modèle OperA [Dignum, 2004] . . . . .	25
2.5	Concepts, lois et relations mobilisés par le modèle MASQ(tiré de [Tranier, 2007]) . . .	29
2.6	Dépendance réciproque de $a$ et $b$ dans une séquence de trois tâches . . . . .	35
2.7	Dépendance réciproque de $a$ et $b$ dans un cycle de trois tâches . . . . .	35
2.8	Les trois niveaux d'apprentissage du modèle de [Argyris and Schon, 1996] . . . . .	40
3.1	Méta-modèle de la structure d'une organisations . . . . .	49
3.2	Les ressources, fondements des relations . . . . .	50
3.3	Les objectifs d'un acteur déterminent ses enjeux sur chaque relation . . . . .	52
3.4	Le méta-modèle étendu des SAC. . . . .	55
3.5	La prise en compte des interdépendances entre les impacts des relations. . . . .	57
3.6	Concession et bienveillance au niveau d'une relation $r$ d'une dyade d'acteurs. $a$ contrôle la relation $r$ , $b$ en dépend. . . . .	67
3.7	Concession et bienveillance réciproques de deux acteurs . . . . .	68
3.8	Tableau des pouvoirs et satisfactions des acteurs d'un modèle d'organisation, calculés dans une configuration donnée en valeur et en proportion. . . . .	73
3.9	Représentation en histogrammes des parts d'impacts du pouvoir des acteurs d'un modèle d'organisation. . . . .	74
4.1	Schéma de la structure de Plan International dans les années 1970 . . . . .	77
4.2	Schéma de la structure de Plan International de 1986 à 1989 . . . . .	78
4.3	Schéma de la structure de Plan International en 1994 . . . . .	80
4.4	Évolution politique et évènements majeurs de Plan International entre 1986 et 1994 .	81
4.5	Fonctions d'effets du modèle de Plan International pour la période 1986-1988. . . . .	86
4.6	Contributions agrégées à la satisfaction des groupes (BR,DL2) et (DG,DL1,HQ) dans la configuration régulée, pour le modèle 1 . . . . .	89
4.7	Contributions agrégées à la satisfaction des groupes (BR, DL2) et (HQ, DG, DL1), dans la configuration régulée du modèle 2. . . . .	93
5.1	Variation du taux d'exploration d'un acteur, en fonction de son écart et de la valeur de sa ténacité . . . . .	104
5.2	Histogrammes des états de quatre relations . . . . .	106
5.3	boxplot des états de quatre relations . . . . .	107
5.4	Nuage de points et droite de régression linéaire entre les satisfactions de deux acteurs	108

5.5	Nuage de points dans le plan formé des deux premières composantes principales (variables d'états des relations).	110
5.6	Positionnement des variables de satisfaction dans un cercle de corrélation	110
5.7	Histogramme des satisfactions des acteurs et du nombre de pas nécessaire pour la régulation, pour le modèle 1	114
5.8	Analyse bivariable des satisfactions des acteurs et du nombre de pas de simulation, pour le modèle 1	114
5.9	Cercle de corrélation obtenu par l'ACP des variables de satisfaction et de nombre de pas de simulation, pour le modèle 1	115
5.10	Cercle de corrélation obtenu par l'ACP des variables de satisfaction, pour le modèle 1	116
5.11	Histogrammes des satisfactions des acteurs et du nombre de pas nécessaire pour la régulation, pour le modèle 2	117
5.12	Analyse bivariable des satisfactions des acteurs et du nombre de pas de simulation pour le modèle 2	117
5.13	Cercle de corrélation obtenu par l'ACP des variables de satisfaction, pour le modèle 2	118
5.14	Histogrammes des états des relations et du nombre de pas nécessaire pour la régulation, pour le modèle 1	119
5.15	Histogrammes des états des relations et du nombre de pas nécessaire pour la régulation, pour le modèle 1	119
5.16	Nuages de points des états des relations et du nombre de pas nécessaire pour la régulation, pour le modèle 1	120
5.17	Cercle de corrélation d'une ACP pratiquée sur les satisfactions des acteurs et l'état de la relation Croissance et contrôle	121
6.1	Fonction de transfert d'une organisation	123
6.2	Singularités d'un champ de capacité	129
6.3	Éminence, courbe $\mathcal{C}_k$ de niveau $k$ qui la délimite et îlot dans un paysage de capacité simple.	131
6.4	Paysage de capacité d'équation $CA(e_1, e_2) = -e_1^2 - e_2^2 + 10$ . Le plan de niveau $k = 80\%$ de $CA_{max}$ est aussi représenté	132
6.5	Fonctions d'effets résultantes pour le directeur	135
6.6	Fonctions d'effets résultantes pour la secrétaire	135
6.7	Interprétation géométrique du déterminant de l'approximation linéaire d'une fonction	137
7.1	Représentation de points critiques d'un paysage	143
7.2	Représentation des régularités d'un paysage tridimensionnel	143
7.3	Représentation graphique d'un îlots constitués de voxels	145
7.4	Fonctions d'effets des relations sur l'acteur $A$	150
7.5	Fonctions d'effets des relations sur l'acteur $B$	150
7.6	Allure des paysages de capacité d'action de $A$ et $B$ , et du paysage de satisfaction de $A$	150
8.1	Les acteurs et l'organisation d'un SAC	170
8.2	Allure type de transformations de paysages suivant la sensibilité stratégique d'un acteur	172
8.3	Paysage de satisfaction de $a$ selon $r$	173
8.4	Transformation du paysage de satisfaction de $b$ selon $r$ , telle que $a$ pourrait l'effectuer	173
8.5	Effets de l'application de différents coefficients à un paysage tridimensionnel	174
8.6	Érosion et dilatation globale d'un paysage par opérateurs morphologiques	175
8.7	Fonctions d'effets du jeu simple à deux acteurs	180
8.8	Fonctions d'effets d'un jeu à deux acteurs qui présente un maximum local	182
8.9	Évolution de l'enjeu posé par $act1$ sur $rel1$	182
8.10	Évolution de l'enjeu placé par un acteur sur la relation qu'il contrôle, lorsqu'il utilise le recuit simulé	184
8.11	Deux exemples de résultats du recuit simulé d'une simulation effectuée sur le cas Bolet.	186
8.12	Comparaisons des deux approches pour une simulation type	189

# Liste des tableaux

2.1	Exemple de séquence ADICO pour exprimer une règle . . . . .	44
4.1	Les relations, leurs contrôleurs, et l'interprétation de leurs états. . . . .	84
4.2	Enjeux posés par les acteurs sur les relations (les enjeux posés par un acteur sur la relation qu'il contrôle sont sur la diagonale) . . . . .	85
4.3	Solidarités des acteurs de Plan International . . . . .	86
4.4	Valeurs moyennes et écarts types des états des relations à convergence . . . . .	87
4.5	Moyennes (en valeur et pourcentage) de la satisfaction des acteurs à convergence . . .	88
4.6	Influence d'un acteur (en colonne) sur chacun des autres (en ligne), dans la configuration résultat de la régulation simulée du modèle 1 . . . . .	88
4.7	Configuration à convergence, d'équilibre de Nash et de Satisfaction globale maximale .	89
4.8	Satisfactions obtenues par les acteurs dans les configurations de satisfactions globales maximales et minimales du modèle 1 . . . . .	90
4.9	Enjeux posés par les acteurs sur les relations, pour le modèle 2 . . . . .	91
4.10	Valeurs moyennes et écarts types des états à convergence pour le modèle 2 . . . . .	92
4.11	Valeurs, écart types, et pourcentage de la satisfactions des acteurs . . . . .	92
4.12	Influence exercée par un acteur (en colonne) sur chacun des autres (en ligne), dans les configurations résultats de la régulation simulée sur le modèle 2 . . . . .	93
4.13	Configuration à convergence, d'équilibre de Nash et de CA globale maximale . . . . .	93
5.1	Interprétation conjointe de la dispersion des résultats d'une expérience de simulation et de la rapidité de sa convergence. . . . .	112
5.2	Matrice de covariances des satisfactions des acteurs, pour le modèle 1 . . . . .	115
5.3	Matrice de covariance des satisfactions des acteurs, pour le modèle 2 . . . . .	118
7.1	Répartition des enjeux des acteurs $A$ et $B$ sur $r_1$ et $r_2$ . . . . .	150
7.2	Notations des relations et de leurs états . . . . .	155
7.3	Gradients de satisfactions et leurs normes, calculés dans la configuration régulée du modèle 1. La composante correspondant à la relation contrôlée par chaque acteur est mise en gras . . . . .	157
7.4	Configuration régulée et équilibre de Nash du modèle 1 . . . . .	158
7.5	Synergies normalisées calculées dans la configuration régulée du modèle 1. . . . .	159
7.6	Co-dépendances normalisées calculées dans la configuration régulée du modèle 1. . . .	159
7.7	Gradients de satisfactions et leurs normes, calculés dans la configuration régulée du modèle 2. La composante correspondant à la relation contrôlée par chaque acteur est mise en gras . . . . .	162
7.8	Synergies normalisées calculées dans la configuration régulée du modèle 2. . . . .	162
7.9	Co-dépendances normalisées calculées dans la configuration régulée du modèle 2. . . .	163
7.10	Tailles d'îlots dans le paysage de satisfaction globale du modèle 1 de Plan International, pour différentes proportions de la satisfaction globale maximale. La taille de l'espace de configuration est d'un peu plus d'un milliard. . . . .	164
7.11	Interprétation de l'équivalence structurelle dans un réseau d'influence . . . . .	166

8.1	Exemple de répartition des enjeux des acteurs <i>act1</i> et <i>act2</i> sur <i>rel1</i> et <i>rel2</i> qui produit un jeu convergeant vers une configuration de Nash . . . . .	181
8.2	Répartition des enjeux qui produit un jeu à somme nulle . . . . .	181
8.3	Exemple de répartition des enjeux qui produit un jeu semblable au dilemme du prisonnier.	181
8.4	Répartition initiale des enjeux dans le cas du jeu à maximum local. . . . .	182

# Chapitre 1

## Introduction

### 1.1 Contexte de la thèse

Le travail exposé dans cette thèse s'inscrit dans une démarche de formalisation de la Sociologie de l'Action Organisée (SAO), entreprise en collaborations avec des sociologues. L'objectif de cette démarche est de proposer une théorie formelle des organisations sociales, telles qu'elles sont appréhendées par la SAO. Ce projet a donné lieu d'une part à l'élaboration d'un méta-modèle de la structure des organisations sociales, permettant de représenter la structure des relations qu'entretiennent les membres d'une organisation réelle, et d'autre part au développement d'un laboratoire virtuel, *SocLab*, qui permet l'édition de tels modèles, leur analyse et la simulation du fonctionnement de l'organisation modélisée. C'est dans ce contexte que se situe cette thèse.

Nous commençons par présenter la Sociologie de l'Action Organisée, et les questions que posent sa formalisation, en nous inspirant largement de [Roggero, 2006], avant d'aborder plus spécifiquement la problématique abordée dans ce document.

#### 1.1.1 La Sociologie de l'Action Organisée

La SAO, appelée aussi Analyse Stratégique, est un corpus théorique de la sociologie des organisations élaboré durant les années 60 par Michel Crozier et complété par Erhard Freidberg [Crozier and Friedberg, 1977]. Ce corpus est largement utilisé pour sa portée heuristique et reste l'un des plus enseignés en France, tant aux spécialistes qu'aux non spécialistes, notamment les futurs cadres dirigeants. La SAO se focalise sur l'action et fournit un outillage conceptuel permettant de mettre en exergue les déterminants de l'action des membres d'une organisation. La SAO s'applique à des contextes relationnels structurés : elle n'est pas adaptée pour rendre compte d'effets spontanés comme les comportements de foules ou les émeutes [Granovetter, 1978] et son terrain d'investigation privilégié est la régulation organisationnelle.

La SAO définit une organisation comme un système social codifié, car régi par des règles formelles, bien délimité, dans la mesure où l'on sait qui appartient ou non au système, identifiable pour l'observateur car ayant une identité, et stable dans le temps car les membres d'une organisation sont durablement ensemble. Par exemple, une entreprise ou une association constituent une organisation pour la SAO. Une organisation sociale est à la fois un *système social*, parce que constitué d'individus qui, bien que contraints par des règles qui encadrent leur comportement, disposent d'une marge de manœuvre leur permettant d'exercer une influence les uns sur les autres, et un *système technique*, car ces individus disposent de ressources leur permettant d'atteindre des objectifs.

L'objectif de la SAO est de découvrir le fonctionnement réel d'une organisation au-delà des règles formelles qui la définissent. Pour cela, elle étudie le jeu des relations de pouvoir à l'œuvre entre ses membres, qualifiés d'acteurs, les stratégies qui émergent de leurs interactions et les mécanismes de régulation de ces relations. La notion de pouvoir est centrale en SAO, c'est l'élément structurant du système de relations d'une organisation. Selon la SAO, le pouvoir d'un acteur résulte de la maîtrise d'une ou de plusieurs « zones d'incertitude » c'est-à-dire de ressources nécessaires à l'action d'autrui et dont il maîtrise, au moins partiellement, l'accès. Cette maîtrise lui permet de fixer, dans une certaine mesure, les « termes de l'échange » dans la relation qui s'installe avec ceux qui dépendent

de ces ressources, fondée sur les interactions répétées pour la négociation de l'accès à la ressource. La mobilisation stratégique de ses ressources permet à un acteur de disposer du pouvoir lui permettant de préserver et/ou d'accroître son autonomie d'action dans l'organisation, et de faire pression sur les autres.

Le pouvoir tel que le considère la SAO n'est donc pas une caractéristique propre aux acteurs, mais une relation, une transaction qui se manifeste dans les échanges entre acteurs. Crozier et Friedberg définissent le pouvoir de la façon suivante (p69 de [Crozier and Friedberg, 1978]) :

«Le pouvoir de A sur B correspond à la possibilité pour A d'obtenir que dans sa négociation avec B, les termes de l'échange lui soient favorables.»

L'asymétrie sous-jacente à toute relation de pouvoir, et la volonté de chaque acteur de rééquilibrer ces relations à son avantage, sont à l'origine des évolutions et transformations du système de relations. L'interdépendance des acteurs pour l'accès aux ressources, et le fait que leurs objectifs soient potentiellement conflictuels, donnent lieu à un perpétuel mouvement de lutte plus ou moins larvée, où chacun tente de préserver ou d'accroître son autonomie, sa marge de manœuvre dans l'organisation. Ainsi, comprendre une organisation c'est comprendre le système des relations de pouvoir, la façon dont il est structuré par les acteurs et la façon dont leurs comportements entretiennent cette structuration à travers la manipulation stratégique des ressources de l'organisation.

Les relations de pouvoir structurent des configurations sociales, relativement stabilisées, qualifiées de « systèmes d'action concrets » (SAC). Un SAC peut être défini comme l'ensemble constitué, dans un contexte organisationnel donné, par les acteurs et leurs alliances, leurs relations et la régulation de ces dernières. Autrement dit, la notion de SAC permet de poser les frontières du système social que l'observateur veut examiner.

Au sein d'un SAC, le comportement d'un acteur est guidé par une stratégie qui consiste à augmenter et maintenir sa maîtrise sur les ressources qui lui confèrent du pouvoir : les zones d'incertitude. Les principales zones d'incertitudes mises en œuvre dans le tissu de relations de pouvoir d'un SAC reposent sur la compétence ou l'expertise, la maîtrise de l'ouverture du système à son environnement, la maîtrise de la communication interne, et enfin la connaissance et l'utilisation des normes et règles de l'organisation.

Pour Friedberg et Crozier, l'acteur social exerce une rationalité stratégique, c'est-à-dire utilitariste, située et limitée. L'utilitarisme s'exprime dans le postulat que l'acteur a des intentions (maintenir et renforcer sa marge de manœuvre) et qu'il use au mieux des moyens en sa possession pour les réaliser. Le caractère situé dénote la singularité de l'acteur comme entité appartenant à un système structuré et structurant. Enfin, le caractère limité de la rationalité fait référence aux travaux de Herbert Simon sur les limites cognitives des individus en termes de calcul et d'accès à l'information. Pour le dire autrement, l'acteur social au sens de la SAO est stratégique dans le cadre d'une rationalité limitée lui permettant d'opérer un calcul (coût/bénéfice) pour tirer parti de ses relations avec les autres acteurs de l'organisation.

La SAO propose donc une théorie de l'action organisée capable de rendre compte de nombreux processus organisationnels en tenant compte de l'interdépendance entre l'acteur et l'organisation, à l'aide des concepts de rationalité limitée, de relations de pouvoir, de zones d'incertitude et de système d'action concret. Cette théorie fournit une grille d'analyse éclairante des processus en jeu dans une organisation, que ce soit par exemple pour étudier l'introduction d'une machine-outil dans une entreprise traditionnelle [Crozier, 1963] ou la prise de décision dans la crise des missiles de Cuba [Crozier et Friedberg, 1977].

### 1.1.2 Formalisation de la SAO et simulation de la régulation des SAC

L'entreprise de formalisation de la SAO a conduit à la production d'un méta-modèle de la structure des systèmes d'action concrets et d'un environnement de simulation qui implémente ce modèle : *SocLab*.

La structure d'un SAC est représentée par un ensemble d'objets mathématiques bien définis, dont l'implémentation informatique permet d'une part l'exploration de l'espace d'états qu'ils délimitent, et d'autre part l'étude analytique des propriétés structurelles. Le méta-modèle est accompagné de la

définition d'un ensemble d'indicateurs, ce qui permet de produire des mesures interprétables dans les termes de la SAO d'un élément particulier de l'organisation ou bien de son ensemble. Partant d'une organisation concrète dont on a modélisé la structure, il est donc possible d'étudier les différents états dans lesquels elle peut se trouver, et de pratiquer sur ces états un certain nombre de mesures qui font sens pour le sociologue. Puisque les jeux de pouvoir entre acteurs sont ce qui détermine la structure de leurs relations, la démarche de la formalisation de la SAO n'aurait pas été complète sans un modèle de la rationalité des acteurs sociaux, dont la simulation permet de déterminer la façon dont les rapports entre acteurs sont susceptibles de se réguler.

La formalisation des structures et la simulation des processus de la SAO renforcent le caractère opératoire de sa méthode d'analyse, et permet au sociologue/modélisateur de tester des hypothèses qu'il lui serait impossible de vérifier sur le terrain. Plus concrètement, la modélisation de la structure d'un SAC et la simulation de sa régulation permettent de rendre compte de son mode de fonctionnement et de l'écart qui le sépare de son fonctionnement attendu, tel que décrit par les règles formelles de l'organisation. Identifier les causes de cet écart est tout l'enjeu de la SAO et notre approche que l'on pourrait qualifier de «sociologie computationnelle» y contribue.

## 1.2 Problématique de la thèse

Le méta-modèle de la structure des organisations représente explicitement les relations porteuses de pouvoir entre les acteurs : les relations sont des entités de premier ordre, elles constituent, avec les acteurs, les «briques structurelles» du SAC. Ces relations sont caractérisées par un certain *état*, qui représente le comportement des acteurs dans les négociations qu'ils mènent avec les autres pour l'accès aux ressources qu'ils maîtrisent, et par *l'effet* de cet état sur les acteurs qui en dépendent.

Un acteur peut adopter des comportements variés dans ses relations avec les autres, ce qui se traduit par des effets différenciés sur les acteurs qui dépendent des ressources qu'il maîtrise. Le modèle de la structure d'une organisation définit donc de façon conjointe l'*espace d'état* des relations entre acteurs, que nous appellerons aussi *l'espace des configurations* de l'organisation, et, grâce aux mesures que les indicateurs du méta-modèle produisent, l'*espace des situations* des acteurs correspondant à ces états, plus moins favorables.

L'espace d'état d'une organisation étant délimité, il faut alors considérer l'*actualisation* de cette structure par les acteurs, c'est-à-dire la façon dont leur action stratégique va réguler les relations de pouvoir dans un état particulier, correspondant au mode de fonctionnement effectif de l'organisation. Il existe donc deux influences qui s'exercent sur cette actualisation (voir schéma de la figure 1.1). D'une part, l'influence des contraintes et opportunités de la structure de l'organisation, qui va déterminer l'effet des comportements des acteurs les uns sur les autres et, d'autre part, l'influence de la stratégie de chacun des acteurs pour amener l'organisation dans un état qui lui soit favorable.

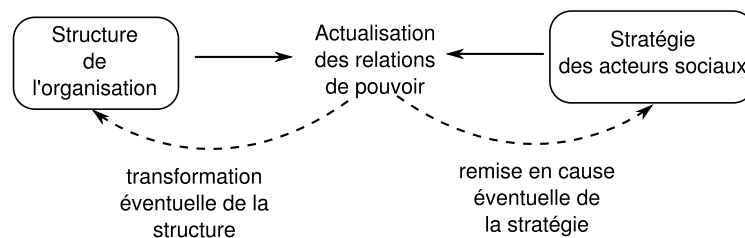


FIGURE 1.1 – La double influence de la stratégie des acteurs et de la structure d'une organisation sur son actualisation

L'étude de l'influence de la stratégie des acteurs fait l'objet de la thèse de Joseph El-Gemayel, en cours.

Nous nous intéressons de notre côté à l'influence de la structure d'une organisation sur son actualisation. Il s'agit principalement d'expliquer comment les caractéristiques structurelles d'une organisation l'amènent à se réguler dans certaines configurations sociales plutôt que d'autres, et dans une moindre mesure d'envisager en quoi l'actualisation de la structure d'un SAC peut amener les acteurs

à tenter d'en modifier les caractéristiques structurelles.

La figure 1.2 présente l'organisation comme un système dont la structure transforme l'espace des comportements des acteurs en un ensemble de situations régulées, plus ou moins avantageuses pour les acteurs, mais qui a tendance à accroître leurs capacités d'action, ce qui constitue la raison d'être de bien des organisations. Les travaux exposés dans cette thèse visent à expliquer l'influence de la structure sur les deux rétroactions à l'œuvre dans ce système : l'ajustement des comportements des acteurs par le processus de régulation, et la transformation de la structure elle-même.

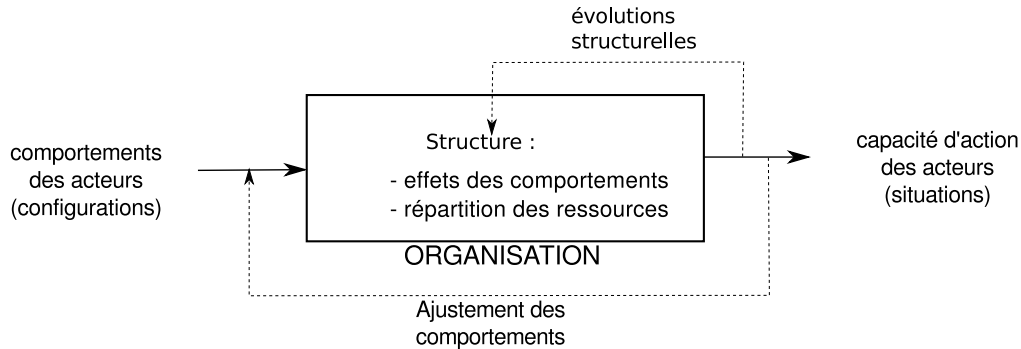


FIGURE 1.2 – L'organisation vue comme un système qui produit une situation régulée, en fonction de sa structure et des comportements possibles des acteurs

Le modèle de la structure d'une organisation comprend la distribution et l'utilité des ressources entre les acteurs de l'organisation ainsi que la modélisation des effets différenciés du comportement qu'adopte chaque acteur sur les autres. Cette structure détermine l'ensemble des configurations possibles de l'organisation qu'il est possible de comparer les unes par rapport aux autres et d'évaluer eu égard à ce qu'elles impliquent pour le fonctionnement de l'organisation.

Du point de vue d'un acteur, l'analyse structurelle permet de déterminer les configurations qui lui sont a priori avantageuses, et dans lesquelles il va chercher à placer l'organisation en usant du pouvoir dont il dispose. Du point de vue de l'organisation, comme les acteurs sont liés les uns aux autres et qu'ils ont des intérêts potentiellement conflictuels, il s'agit de déterminer si la structure de l'organisation permet aux acteurs de trouver des compromis qui permettent à chacun d'accéder aux ressources qui lui sont nécessaires pour atteindre ses objectifs.

Comme le changement de comportement d'un acteur dans les relations qu'il entretient avec les autres peut entraîner un changement de comportement des autres acteurs, et donc de tout le système, il nous faut non seulement déterminer l'impact de la structure de l'organisation sur les résultats du processus de régulation, mais aussi son impact sur le déroulement du processus lui-même. On s'attend par exemple à ce que dans une organisation dont les relations sont très conflictuelles, la régulation soit difficile voire impossible.

L'analyse structurelle d'une organisation nous apporte enfin un éclairage sur les évolutions structurelles que les acteurs peuvent être amenés à entreprendre, qui concerne une autre dimension du jeu social, bien plus complexe, à savoir l'évolution endogène d'une organisation. En effet, la structure d'une organisation décrit le contexte et les règles du jeu social auquel les acteurs participent en exerçant leur pouvoir les uns sur les autres. Il nous faut alors envisager comment la structure d'une organisation, par son influence sur la régulation et les caractéristiques des configurations qui en résultent, peut amener les acteurs à entreprendre de modifier ces règles du jeu.

### 1.3 Approche retenue

Nous avons tiré parti du formalisme mathématique utilisé pour décrire la structure d'une organisation afin de cerner l'influence de cette structure sur sa régulation et son évolution. L'intérêt de la formalisation de la SAO est qu'elle permet de représenter les constituants d'une organisation par des



objets mathématiques dont on peut interpréter les propriétés dans les termes de cette théorie, et ainsi caractériser les entités réelles que ces objets modélisent.

Nous avons adopté différentes techniques d'analyse, en fonction de la nature mathématique des objets manipulés. Nous manipulons des combinaisons d'acteurs, de relations et d'états ; cela nous permet de considérer une organisation comme une structure algébrique multi-dimensionnelle, que l'on peut projeter de différentes façons pour calculer différents indicateurs. Par exemple, on peut examiner l'ensemble des relations dans lesquelles est engagé un acteur, ou bien examiner l'ensemble des acteurs dépendant d'une certaine ressource, ou encore étudier toutes les relations que partagent une dyade d'acteurs, etc.

Lorsque l'on s'est intéressé aux effets de l'état d'une ou plusieurs relations, nous exploités le fait que ces effets sont modélisés par des fonctions continues, définies sur un espace de comportements lui aussi continu, ce qui nous a amené à mobiliser des techniques de calcul différentiel pour en étudier les variations. Cela nous a permis notamment d'étudier les propriétés de la *fonction de transfert de l'organisation*, schématisée figure 1.2. L'application de ces techniques constitue une part significative de cette thèse.

Lorsque nous nous sommes intéressés à l'influence de la structure sur le processus de régulation des comportements, nous avons utilisé des outils statistiques pour déceler, dans les résultats de simulation, des tendances que l'on peut attribuer aux caractéristiques structurelles de l'organisation. Nous avons par exemple cherché à mettre en correspondance la dispersion des résultats de simulations et le taux de régulation de l'organisation.

Lorsque nous avons cherché à mesurer l'étendue de l'influence d'un acteur nous avons analysé la structure de l'organisation comme un réseau de relations de pouvoir, à l'aide de métriques utilisées en théorie des graphes.

Enfin, lorsque nous avons abordé l'évolution structurelle d'une organisation, nous avons fait appel à des techniques d'exploration heuristiques (recuit simulé) et de simulation d'apprentissage.

## 1.4 Organisation du document

Dans cette dernière section, nous résumons les différents chapitres de ce mémoire et présentons les principaux résultats de ce travail.

**Le chapitre deux** présente des travaux en relation avec notre travail, en ce qu'ils mobilisent le concept d'organisation, que ce soit pour la conception de systèmes multi-agents, pour le diagnostic organisationnel, ou relevant de la sociologie computationnelle.

Dans une première partie, nous présentons l'usage du concept d'organisation et de la métaphore sociétale pour guider la conception de système multi-agents, qualifiés alors de modèles *organisation-centrés*. Considérer un SMA comme une organisation vise à contrôler le fonctionnement du système en fixant des règles que doivent suivre les agents dans leurs interactions. Nous verrons comment les constituants de base des modèles organisation-centrés, les *rôles* et les *normes*, sont utilisés à cet effet en examinant quelques modèles de la littérature. Nous présenterons ensuite des modèles plus complexes, qui utilisent la notion d'*institution* pour réguler les interactions en fixant un cadre au sein duquel les actions et les échanges des agents sont reconnus et appréhendés par les autres. Les modèles institutionnels définissent aussi le *protocole* que doivent suivre les échanges entre agents, ce qui permet d'affiner l'application des normes du système, du fait d'une description plus riche des échanges entre les agents. Enfin, nous aborderons une autre catégorie de modèles organisation-centrés, basés sur la notion d'*engagement social*. Ces modèles formalisent l'interdépendance et la complémentarité des agents pour l'atteinte de leurs buts et proposent des mécanismes qui permettent aux agents d'exploiter cette complémentarité. Nous verrons également comment ces concepts sont étendus au contexte particulier d'un *groupe* d'agents, et comment cette structure intermédiaire entre la dyade et le système entier modifie les engagements des agents et les normes qu'ils suivent.

Dans une seconde partie, nous présentons des modèles d'organisation pour le diagnostic organisationnel ou l'évaluation de la performance d'une organisation. Nous présentons un modèle qui, à

partir de la modélisation de la structure d'une organisation, permet de rendre compte des relations de dépendances complexes qui peuvent apparaître dans les processus d'une organisation. Puis nous présenterons une approche basée sur la théorie de la décision pour évaluer la performance de la modification de la structure d'une organisation. Un modèle spécifique au domaine de la gestion de crise est aussi présenté, qui permet d'évaluer la robustesse, la flexibilité et l'efficacité de la structure de ces organisations particulières. Enfin, nous présentons des travaux où la performance d'une organisation est évaluée par l'*apprentissage organisationnel*, en s'intéressant à l'influence réciproque qui s'exerce entre la structure de l'organisation et les modes d'apprentissage de ses membres.

La troisième partie du chapitre deux présente des travaux de sociologie computationnelle, i.e qui utilisent l'informatique pour produire de nouvelles connaissances théoriques relevant de la sociologie. Nous y mentionnons des travaux qui s'intéressent à l'émergence de construits sociaux, comme les institutions ou les normes informelles. Nous nous intéressons ensuite à la notion de confiance, un autre élément structurant des relations entre acteurs sociaux, et nous présentons sa relation au pouvoir. Nous terminerons avec des travaux qui s'intéressent également au rapport entre structure et pouvoir dans les organisations, par l'analyse des réseaux de relations entre les acteurs d'une organisation.

**Le troisième chapitre** expose le formalisme qui sera étudié dans les chapitres suivants, à savoir le méta-modèle de la structure des organisations sociales, issu de la formalisation de la SAO. Nous commençons par présenter dans une première partie le socle de ce méta-modèle : les *acteurs* avec leurs *objectifs* sous-jacents et, les *relations* fondées sur les *ressources*. Les acteurs sont les entités actives du système et interagissent par l'intermédiaire des relations. Chaque relation est fondée sur une (ou plusieurs) ressource que maîtrise l'acteur qui contrôle la relation et dont ont besoin, d'une façon ou d'une autre, ceux qui en dépendent pour atteindre leurs objectifs. Chaque relation est contrôlée par un acteur et d'autres acteurs en dépendent. Chaque acteur contrôle au moins une relation et dépend d'autres relations, ce qui fait que les acteurs sont interdépendants et s'influencent les uns les autres par l'intermédiaire de leurs relations. Les objectifs des acteurs ne sont pas modélisés explicitement, mais apparaissent sous la forme d'*enjeux* qui représentent l'importance de la ressource sous-jacente à une relation. Chaque relation est dans un certain *état* qui caractérise le comportement de l'acteur qui la contrôle, et ainsi détermine la façon dont ceux qui en dépendent peuvent l'exploiter pour réaliser leurs objectifs. L'état d'une organisation est alors défini comme le vecteur de l'état de chacune des relations ; un tel état caractérise les comportements des acteurs les uns vis-à-vis des autres (par l'intermédiaire des relations qu'ils contrôlent) et détermine la capacité de chaque acteur à réaliser ses objectifs, ce que nous appellerons sa *capacité d'action*. La structure d'un SAC délimite donc son *espace d'états*, i.e. le jeu des possibles au sein de l'organisation, et cet espace est mis en correspondance avec l'espace des capacités d'action, par les paramètres de la structure du SAC.

Dans une seconde partie, nous présenterons des extensions de ce méta-modèle. Pour représenter certaines normes sociales qui empêcheraient un acteur de fixer l'état d'une relation au-delà d'une certaine limite, il est possible de borner l'espace d'état d'une relation. Des fonctions de contraintes entre relations sont également introduites, pour représenter l'influence de l'état d'une relation sur l'espace d'état d'une autre. Les *solidarités* permettent de représenter les liens entre les acteurs qui ne relèvent pas des relations organisationnelles, associant à la réussite propre d'un acteur une fraction de celles des autres.

Enfin, la modélisation du contrôle d'une relation partagé entre plusieurs acteurs et la modélisation de l'agrégation de relations élémentaires en relations composites sont également décrites.

Dans la troisième partie, la structure d'une organisation est définie sous la forme d'une structure mathématique constituée d'ensembles, de fonctions et de paramètres. Plusieurs *indicateurs* sur cette structure sont définis, caractérisant cette organisation. L'interprétation de la valeur de ces indicateurs repose sur celle du méta-modèle dans les termes de la SAO. Par exemple, on pourra définir le *pouvoir* qu'exerce un acteur sur un autre dans un certain état, ou l'*impact* d'une relation sur un acteur par une certaine expression mathématique dont la construction est justifiée par l'interprétation des éléments

du modèle qu'elle fait intervenir. Deux catégories d'indicateurs sont distinguées : les indicateurs *situés*, qui rendent compte de caractéristiques, fonctions de l'état de l'organisation, et les indicateurs *structurels*, qui rendent compte de caractéristiques indépendantes de l'état de l'organisation.

Les quatrième et cinquième parties décrivent comment ces indicateurs sont mobilisés pour rendre compte de propriétés de la structure d'une organisation. Nous commençons par identifier les configurations remarquables d'une organisation, c'est-à-dire les états qui se distinguent des autres parce qu'ils maximisent ou minimisent certains indicateurs, comme par exemple la satisfaction, ou bien présentent des propriétés particulières, comme d'être un équilibre de Nash (tout changement de comportement de l'un des acteurs le conduirait à une capacité d'action moindre si d'autres acteurs ne modifient pas également leur comportement). Enfin, nous indiquons comment certains indicateurs et configurations remarquables donnent des indications sur les propriétés sociologiques de l'organisation. Cela revient pour le modélisateur à effectuer une analyse *a priori* de l'organisation, en explorant de façon heuristique une partie de son espace d'états. Donnons un exemple : s'il s'avère que les états qui sont très favorables à un acteur correspondent à ceux qui pénalisent un autre acteur et réciproquement, on peut en déduire que ces deux acteurs sont en conflit de façon structurelle, indépendamment de leurs caractéristiques personnelles.

**Le chapitre quatre** présente un exemple de mise en œuvre de cette formalisation : la modélisation de Plan International, organisation non gouvernementale d'aide au développement. Nous nous intéressons à cette organisation sur une période d'une vingtaine d'années, de la fin des années 70 au milieu des années 90. Comme d'autres ONG, Plan International a subi des perturbations lors de son passage à la décentralisation. La modification de son organigramme hiérarchique, la redistribution du pouvoir qui l'accompagne et l'embauche d'un nouveau directeur général ont donné lieu à des conflits internes, notamment à propos de sa politique d'intervention. C'est sur ce terrain que s'affrontent d'un côté les instances dirigeantes, partisans d'une politique de croissance rapide et d'un contrôle managérial étroit et uniformisé, et d'un autre côté les instances locales de l'organisation, qui prônent une croissance lente, durable et un contrôle managérial adapté aux particularités des terrains d'interventions. Ces conflits ont conduit Plan International à une rupture organisationnelle qui l'a amené à revoir profondément les fondements de son activité. L'intérêt de ce cas réside dans les jeux de pouvoir à l'œuvre entre les instances dirigeantes et locales, dont nous donnerons deux modèles.

La première partie du chapitre présente l'historique de l'organisation, ses acteurs majeurs ainsi que les modèles d'interventions sur lesquels s'affrontent les deux partis.

La deuxième partie du chapitre présente les deux modèles de la structure de l'organisation. Le premier modèle s'intéresse à l'organisation au début de la décentralisation, en 1986, juste après l'adoption d'une politique de croissance rapide par les dirigeants de Plan International. Le second modèle s'intéresse à l'organisation en 1989, lorsque les conflits s'intensifient.

La troisième partie du chapitre décrit la rupture qui s'est produite au sein de Plan International en 1993 et les changements organisationnels qu'elle a occasionnés.

**Le chapitre cinq** traite de la régulation des organisations, c'est-à-dire la façon dont, par ajustements successifs, les acteurs d'une organisation stabilisent leurs comportements (cf. figure 1.2). Nous simulons le processus de régulation d'une organisation, calculant ainsi dans quelles configurations il est plausible qu'elle se régularise.

La première partie du chapitre explique l'intérêt d'explorer l'espace d'état d'un SAC par simulation. La simulation réalise un calcul «individu-centré» particulièrement éclairant pour l'analyse de la structure qui détermine résultat de l'application simultanée des stratégies des acteurs. Elle permet, de plus, de situer les configurations résultats par rapport aux autres configurations que la structure du SAC autorise. Identifier les différences entre les configurations régulées et les configurations remarquables, et mobiliser les indicateurs présentés dans le chapitre trois se révèle particulièrement instructif pour analyser les configurations régulées et les propriétés de la structure.

La seconde partie présente le modèle de la rationalité des acteurs sociaux, et le déroulement d'une simulation. La régulation est assimilée à un *jeu* dans lequel les acteurs ont leur fonction d'utilité

propre, résultant de leurs objectifs, bien qu'ils aient tous le même méta-objectif : obtenir les moyens d'atteindre leurs objectifs. Dans les termes du méta-modèle, il s'agit pour eux de placer l'organisation dans un état leur procurant une bonne capacité d'action.

La simulation du déroulement de ce jeu est effectuée au moyen d'un système multi-agents, où chaque acteur de l'organisation est un agent qui modifie l'état des relations qu'il contrôle de façon à améliorer sa capacité d'action. Chaque agent dispose pour cela d'un mécanisme d'apprentissage par essais-erreurs à base de règles, qui lui permet de déterminer l'action à entreprendre en fonction de la situation dans laquelle il se trouve.

La simulation s'arrête lorsqu'un état stationnaire est atteint, c'est-à-dire quand chaque acteur est satisfait de son niveau de capacité d'action et ne cherche plus à modifier son comportement. L'organisation est alors régulée, elle peut fonctionner ainsi. Le jeu social que nous simulons se distingue de jeux traditionnellement considérés en économie dans la mesure où nous ne cherchons pas à découvrir comment maximiser un gain au cours du jeu, mais à découvrir dans quel configuration il peut se stabiliser et donc perdurer.

La troisième partie présente l'algorithme d'apprentissage des acteurs, ses paramètres et les paramètres psycho-cognitifs que nous avons défini pour particulariser les capacités cognitives d'un acteur. Cet algorithme consiste à créer et maintenir une base de règles qui associent à une situation l'action à entreprendre sur les états des relations contrôlées par l'acteur. Ces règles sont rétribuées en fonction de l'amélioration de la situation que l'application de leur action produit. La confrontation de ce modèle de simulation avec différents modèles de SAC indique que l'algorithme converge d'autant plus facilement que la structure du SAC récompense la coopération des acteurs.

L'algorithme d'apprentissage des acteurs intègre un mécanisme de mise à jour de leurs *ambitions*, qui suit l'hypothèse qu'un acteur peut évaluer sa situation par rapport à celle qu'il estime la meilleure (ou la pire) possible dans l'espace qui lui est accessible, et donc avoir une bonne idée de ce à quoi il peut prétendre : son ambition. L'ambition d'un acteur permet également de régler le taux d'exploration/exploitation de la recherche d'un acteur : plus un acteur est satisfait, plus il aura tendance à exploiter, et moins il sera satisfait, plus il aura tendance à explorer.

La quatrième et cinquième partie s'intéressent aux traitements statistiques que l'on peut effectuer sur les résultats d'une expérience de simulation. La dimension stochastique du comportement des acteurs conduit à répéter la simulation de la régulation, pour constituer un jeu de résultats de plusieurs régulations, et se dégager des cas particuliers. Les jeux de données produits peuvent révéler certaines propriétés structurelles de l'organisation, comme son taux de régulation, voire les différents modes de fonctionnements stables que sa structure pourrait autoriser. Ces propriétés structurelles peuvent être mises en évidence par certains traitements statistiques simples. Nous commençons par présenter les outils statistiques, avant de mettre en relations les résultats de leur application avec les propriétés structurelles qu'ils pourraient mettre en évidence. Ces outils d'analyse sont finalement appliqués aux résultats des simulations menés sur les deux modèles de la structure de Plan International, présentés au chapitre quatre.

**Le chapitre six** propose des outils mathématiques pour l'étude de la fonction de transfert (du modèle) d'une organisation, qui met en correspondance l'espace des comportements (i.e. des états des relations) qu'elle délimite et l'espace des effets de ces comportements (i.e. les capacités d'action des acteurs) qu'elle produit. L'interprétation, en termes de sociologie des organisations, des résultats que ces outils permettent d'obtenir est développée dans le chapitre 7.

Une organisation est vue comme un système qui transforme des comportements en capacités d'action (voir figure 1.2). Nous pouvons alors étudier cette transformation de façon analytique, sur la base de l'expression littérale de la *fonction de transfert* de l'organisation. Il se trouve que l'espace des capacités d'action des acteurs présente les propriétés d'un *champ scalaire*, que l'on peut représenter graphiquement comme une « nappe » que nous nommerons *paysage*, dont la topologie dépend directement des paramètres de la structure de l'organisation. En utilisant des outils de géométrie différentielle, il est possible de caractériser la forme de cette nappe et d'en localiser les singularités, comme ses éminences et ses dépressions. Nous intéresserons aux zones des paysages qui garantissent un niveau de capacité donné, que nous appellerons des *îlots*.

La première partie du chapitre 6 revient sur la définition de la fonction de transfert. Les différents opérateurs qui calculent la capacité d'action des acteurs sont discutés ; nous verrons qu'en fait plusieurs fonctions de transferts peuvent être considérées. Partant de la représentation matricielle du modèle d'une organisation, la seconde partie expose l'outillage mathématique d'analyse vectorielle utilisé pour caractériser les champs scalaires en général. Son application aux champs de capacités est développée dans la troisième partie.

Enfin, la quatrième partie de ce chapitre traite de la réduction d'un modèle d'organisation en une forme «canonique», dans laquelle les relations (du modèle) qui médiatisent les interactions entre les acteurs sont court-circuitées. Le modèle qui en résulte est moins précis, bien qu'il se focalise sur ce qui importe le plus *in fine*, à savoir les interdépendances entre les comportements des acteurs. Le modèle de l'organisation est alors une matrice carrée, ce qui permet de considérer d'autres propriétés de la fonction de transfert ainsi réduite.

Dans le **chapitre sept** nous donnons l'interprétation des propriétés topologiques d'un paysage de capacité d'action mises en évidence par l'analyse de la fonction de transfert au moyen des outils introduits au chapitre précédent.

Il s'agit d'opérer un transfert entre le domaine des propriétés topologiques des paysages d'une organisation et le domaine de ses propriétés sociologiques. Plusieurs paysages peuvent être étudiés dans une organisation. Nous nous limiterons cependant à l'étude des paysages de satisfaction et de capacité d'action des acteurs ou de l'organisation dans son ensemble. Les paysages dépeignent l'ensemble du potentiel d'une organisation, en associant à chaque état la valeur de satisfaction (ou de capacité d'action) qui en résulte pour les acteurs. Le paysage de satisfaction d'un acteur est l'espace qu'il explore et apprend lors de la simulation de la régulation, et son relief nous donne des indications sur la façon dont la régulation est affectée par la structure de l'organisation. En particulier, la stabilité d'une configuration est directement reliée à sa position dans le paysage de satisfaction des acteurs et au «relief» de ce paysage au voisinage de cette configuration. Plus le paysage d'un acteur sera escarpé au voisinage d'une configuration, plus une petite variation de celle-ci se traduira par une variation importante de sa satisfaction et pourra l'amener à modifier son comportement. La comparaison des paysages de satisfaction d'acteurs permet aussi de déterminer si deux acteurs peuvent se trouver en situation de conflit ou de convergence d'intérêts, les zones de configurations intéressantes pour l'un pouvant être superposables à celles de l'autre, ou au contraire disjointes. Les îlots des paysages définissent les sous-ensembles de configurations compatibles avec un certain niveau de satisfaction, leur taille et leur dispersion s'interprètent comme des caractéristiques des modes de fonctionnement potentiels de l'organisation.

Enfin, considérer non plus les paysages individuels des acteurs, mais le paysage de satisfaction « globale » de l'organisation permet d'avancer quelques éléments qui caractérisent le degré de *coopérativité* de l'organisation, la façon dont elle facilite et/ou favorise l'établissement d'une configuration régulée globalement profitable à ses membres. Dans ce paysage global, la dispersion des îlots s'interprète comme la polyvalence de l'organisation, capable d'obtenir un même niveau de satisfaction dans des configurations différentes.

Dans les première et la seconde parties, nous distinguons les *configurations* d'une organisation, qui sont la donnée des comportements qu'adoptent les acteurs, des *situations* qui sont les configurations transformées par la structure de l'organisation en éléments de capacité d'action. Nous décrirons ensuite les différentes appréciations qu'il est possible de faire d'une situation, suivant les constituants qui sont pris en compte, et que l'on se place du point de vue d'un acteur ou de toute l'organisation.

La troisième partie est consacrée à l'interprétation des propriétés des paysages, ses points particuliers et les propriétés de ses îlots. La quatrième partie aborde brièvement la question de la représentation graphique des paysages. La cinquième partie traite de l'influence du relief des paysages sur le déroulement de la régulation, et des convergences ou divergence d'intérêts dûs au relief des paysages des acteurs. La sixième partie aborde les potentialités d'une organisation, en considérant notamment les propriétés topologiques du paysage et des îlots de capacité globale de l'organisation.

Dans la septième partie nous appliquerons les outils de caractérisation des paysages aux modèles de l'ONG Plan International présentés au chapitre 4.

Enfin, puisqu'un modèle d'organisation décrit les relations qu'entretiennent ses acteurs, plusieurs réseaux peuvent être extraits du modèle d'une organisation. L'analyse de ces réseaux permettent d'éclairer autrement les système de relations des acteurs, et la dernière partie de ce chapitre se propose d'effectuer un rapprochement entre l'analyse structurelle des réseaux sociaux et l'analyse structurelle d'un modèle de SAC.

**Le chapitre huit** aborde la problématique de l'évolution structurelle endogène d'une organisation. La première partie de ce chapitre expose la nature et les circonstances des évolutions endogènes et distingue les deux dimensions de toute action sociale : la dimension *fonctionnelle*, qui agit sur la configuration des relations des acteurs et la dimension *structurelle* qui agit sur la structure même de ces relations. Alors que la simulation de la régulation d'une organisation du chapitre 5 porte sur la dimension fonctionnelle de la régulation des organisations, ce chapitre se focalise sur la dynamique du jeu social lui-même, et traite de la dimension structurelle de cette régulation. Il s'agit pour les acteurs de modifier les règles du jeu social à leur avantage en modifiant leur structure. Nous décrirons également comment ces modifications pourraient se traduire au niveau du relief des paysages des acteurs.

Dans la seconde partie, nous donnons quelques éléments qui pourraient être utilisés pour la simulation de cette évolution. Nous exposerons notamment comment la formalisation de l'objectif poursuivi par un acteur nous donne les paramètres structurels qu'il lui faudra modifier. Par exemple, pour exacerber ou minimiser les convergences ou divergences d'intérêts de deux acteurs, on peut envisager de modifier leurs solidarités.

Enfin, la troisième partie de ce chapitre expose une étude menée sur la simulation de l'évolution endogène d'une organisation par la modifications de ses enjeux. L'objet de cette étude est de trouver les mécanismes de rationalité qui permettraient à un acteur d'augmenter sa capacité d'action dans la configuration régulée d'une organisation en en modifiant les enjeux. Deux cas de figure sont distingués, selon que l'acteur modifie ses propres enjeux, ou ceux des autres. Différentes approches sont envisagées, en particulier l'heuristique du recuit simulé et une approche d'apprentissage à base de règles. Les effets de ces mécanismes sur la structure résultante et la plausibilité des modèles de rationalité testés sont également discutés.

## Chapitre 2

# Le concept d'organisation pour et par l'informatique

### Table des matières

---

<b>2.1</b>	<b>Le concept d'organisation pour modéliser des systèmes multi-agents . .</b>	<b>20</b>
2.1.1	Les concepts de bases des modèles organisation-centrés . . . . .	20
2.1.2	Exemples de modèles organisation-centrés . . . . .	23
2.1.3	La dimension normative des modèles organisation-centrés . . . . .	26
2.1.4	Modèles organisation-centrés plus complexes . . . . .	27
<b>2.2</b>	<b>La modélisation d'organisations pour le design et le diagnostic organisa-</b>	
	<b>tionsnel . . . . .</b>	<b>33</b>
2.2.1	Évaluation de la performance de la structure d'organisations . . . . .	33
2.2.2	L'apprentissage organisationnel . . . . .	40
<b>2.3</b>	<b>Questionnements sur les organisations sociales . . . . .</b>	<b>42</b>
2.3.1	La dynamique d'une organisation . . . . .	42
2.3.2	L'articulation entre les individus et le collectif . . . . .	44

---

Le concept d'organisation est étudié dans de nombreux domaines et selon différentes approches. Nous nous limiterons sauf exceptions aux travaux qui font intervenir l'informatique comme outil au sens large, pour la modélisation, la simulation et l'analyse de systèmes qui intègrent une composante organisationnelle.

Les outils présentés dans cette thèse sont destinés à l'analyse structurelle d'organisations dans l'ensemble de leur espace d'état, et à l'analyse d'états particuliers obtenus par simulation multi-agents de la régulation de l'organisation.

Le concept d'organisation est donc abordé sous différents aspects :

- **Comme un environnement à la sémantique spécifique pour le comportement d'agents** : un modèle d'une organisation sociale présente des possibilités et des contraintes spécifiques à la fois au terrain considéré et à la théorie (souvent implicite) qu'il utilise, pour lesquels il est nécessaire de concevoir des agents capables de s'en saisir.
- **Comme un système réel que l'on cherche à modéliser pour le diagnostiquer** : les mesures que la modélisation d'une organisation sociale permet de pratiquer permettent de mettre en évidence diverses propriétés qui tiennent à la structure de l'organisation et à sa raison d'être.
- **Comme un sujet d'étude théorique, pour la production de connaissances** : des modèles de la structure des organisations sociales et la simulation de leurs fonctionnements constituent un artefact de réflexion qui permet d'éprouver certaines hypothèses de nature sociologique.

La section 2.1 porte sur l'emploi du concept d'organisation, et plus largement de la *métaphore sociétale*, pour la conception de système multi-agents. Nous aborderons la façon donc ce paradigme de développement de logiciels emploie un certain nombre de méthodes de conception, de protocoles d'interaction, ou de spécifications du comportement des agents pour élaborer des systèmes fonctionnellement adéquats. La section 2.2 porte sur le diagnostic et la conception d'organisations réelles, où il s'agit de définir des modèles formels dont l'implantation informatique permet de produire des mesures qui caractérisent la performance d'une organisation dans l'atteinte de ses objectifs. Enfin, la section 2.3 aborde quelques travaux qui relèvent de la sociologie computationnelle.

## 2.1 Le concept d'organisation pour modéliser des systèmes multi-agents

La *métaphore sociale* est utilisée dans de nombreux modèles d'architecture de SMA, considérant qu'un SMA peut être vu comme un ensemble d'agents constituant une *organisation*. Ces modèles, que l'on qualifie alors de *modèles organisation-centrés*, s'inspirent de notions des sciences sociales.

Selon [Tranier, 2007], la prise en compte de la dimension sociale dans les architectures de SMA poursuit les objectifs suivants :

1. assurer la coordination des agents dans un SMA ouvert et hétérogène ;
2. gérer la dualité de l'autonomie (les agents doivent avoir un minimum d'autonomie) et du contrôle (le système doit faire ce pourquoi il a été conçu) ;
3. relier le niveau macroscopique (ce que produit le système) et le niveau microscopique (le comportement des constituants du SMA) ;
4. se dégager de la conception «mentaliste» des SMA, qui ne s'intéresse qu'à la structure interne et aux capacités individuelles des agents.

Nous allons donc dans cette section aborder les concepts de base des modèles de SMA organisation-centrés et en présenter quelques exemples. Puis nous consacrerons une attention particulière aux modèles plus complexes qui intègrent la dimension d'institution et l'engagement social. Les thèses de John Tranier et Laurent Lacomme [Tranier, 2007] [Lacomme, 2011], sur lesquelles nous nous appuyons largement, nous semblent un bon point de départ pour présenter ces modèles.

### 2.1.1 Les concepts de bases des modèles organisation-centrés

Un premier constat peut être fait concernant une grande majorité des modèles organisation-centrés de SMA : la notion de rôle constitue le socle de la définition du comportement des agents dans le



système.

La notion de rôle est un concept clé de la sociologie des organisations ; selon le dictionnaire Robert de la sociologie,

«Le concept de rôle renvoie à des conduites ou à des modèles de conduite qui relèvent d’une affirmation identitaire et d’un processus d’interaction entre les individus et la structure sociale»

Il provient du courant du *fonctionnalisme*, et il est défini conjointement avec la notion de *statut*. Le statut d’un individu est fixé par l’organisation dont il fait partie, c’est la place qu’il occupe dans sa structure. Il consiste en un ensemble de droits, de devoirs, de contraintes et de relations avec les autres individus de l’organisation. Le statut est défini de façon statique alors que le rôle est l’expression dynamique du statut d’un acteur. Le rôle distingue l’individu de son statut social en lui permettant d’exercer son autonomie : le rôle *actualise* le statut correspondant, selon la personnalité de l’individu. Il est vu comme l’ensemble des conduites «normales» d’un individu en fonction de son statut social.

Dans les SMA, où les agents sont des entités logicielles au comportement déterministe ou régi par une loi de probabilité bien définie, la distinction entre rôles et statuts n’a pas lieu d’être, et les deux notions se confondent. C’est le code du SMA qui fixe les rôles et les ressources auxquelles ces rôles ont accès. Il s’agit d’une spécification des contraintes que l’agent doit respecter dans son action et des possibilités qui s’offrent à lui lorsqu’il endosse un rôle. Un rôle définit les objectifs et les capacités des agents qui jouent ce rôle. Il spécifie aussi le type d’interaction que ces agents peuvent avoir. La définition des rôles et de leurs relations est décisive dans la conception d’un SMA : c’est elle qui fait le lien entre les ressources de l’organisation, ses individus et ses objectifs. De même, en fixant l’ensemble des conduites «normales» d’un agent, les rôles sont essentiels pour la définition de la coordination dans les SMA : parce qu’ils représentent les comportements *attendus* des agents, les rôles permettent aux agents d’anticiper dans une certaine mesure le comportement des autres agents et de s’y adapter.

Notons que l’utilisation de la notion de rôles dans les modèles organisation-centrés conduit à ce que la structure des relations soit déterminée par les tâches que le système doit accomplir. En effet, déterminer les rôles des agents revient à les spécialiser, et à décomposer la tâche que doit effectuer le SMA en sous-tâches qui seront *in fine* réalisables par les agents, et à coordonner l’exécution de ces sous-tâches pour en assembler les résultats.

D’autres concepts sont également utilisés. [Luciano R. Coutinho, 2005], en comparant différents modèles organisation-centrés pour en extraire une ontologie, met en évidence des concepts :

1. *structurels* : des groupes, des rôles,
2. *fonctionnels* : des buts, des plans,
3. *normatifs* : obligations,
4. *dialogiques* : scènes, protocoles, et primitives.

[Lacomme, 2011] analyse différents modèles organisation-centrés au regard des concepts organisationnels utilisés et des critères d’ouverture, de dynamique et d’indépendance (figure 2.1).

Le critère d’*ouverture* indique si l’architecture du SMA est prévue pour que des agents puissent quitter ou rejoindre l’organisation à tout moment. Le critère de *dynamique* indique si les changements structurels (modifications des constituants de l’organisation ou de leurs relations) et fonctionnels (modification des objectifs de l’organisation) sont pris en compte dans l’architecture. Le critère d’*indépendance* indique si le modèle de SMA impose des contraintes sur l’architecture interne des agents.

Dans [Tranier, 2007] les constituants des modèles des SMA sont mis en correspondance avec la théorie des quatre quadrants de Wilber [Wilber, 2001], cf. figure 2.5a. Les constituants des SMA dont il est question sont ceux de VOYELLES (Agents Environnement Interactions Organisation)[Demazeau, 2001]. Les quadrants de la théorie de Wilber indiquent comment sont articulés les concepts de niveau individuel et collectif, et distingue ce qui relève de l’interne (ce qui est particulier à chacun, agent ou

	Ouverture	Dynamique	Indépendance	Notions organisationnelles <sup>4</sup>
AGRE	NON	NON	OUI	Groupes, Rôles
AUML	NON	NON	NON	Protocoles, Rôles
ISLANDER	limité	NON	OUI	Institutions, Scènes, Structures performatives, Normes
MAS-ML	NON	NON	NON	Rôles
MOISE <sup>+</sup>	OUI	NON	OUI	Rôles, Relations, Groupes
ODML	NON	limité	OUI	Nœuds, Liens, Contraintes, Modificateurs, Variables
OMNI	OUI	NON	OUI	Rôles, Groupes, Dépendances, Interactions, Normes, Règles
OperA	limité	NON	OUI	Rôles, Groupes, Dépendances, Communications, Normes, Contrats
STEAM	NON	limité	OUI	Équipe, Rôles persistants, Rôles spécifiques, Tâches
TAEMS	OUI	limité	OUI	Tâches, Relations entre tâches

FIGURE 2.1 – Critères d'évaluation de différents modèles d'organisation utilisés dans [Lacomme, 2011]

collectif d'agent) et de l'externe (ce qui relève de la perception qu'ont les agents de l'environnement dans lequel ils sont plongés) .

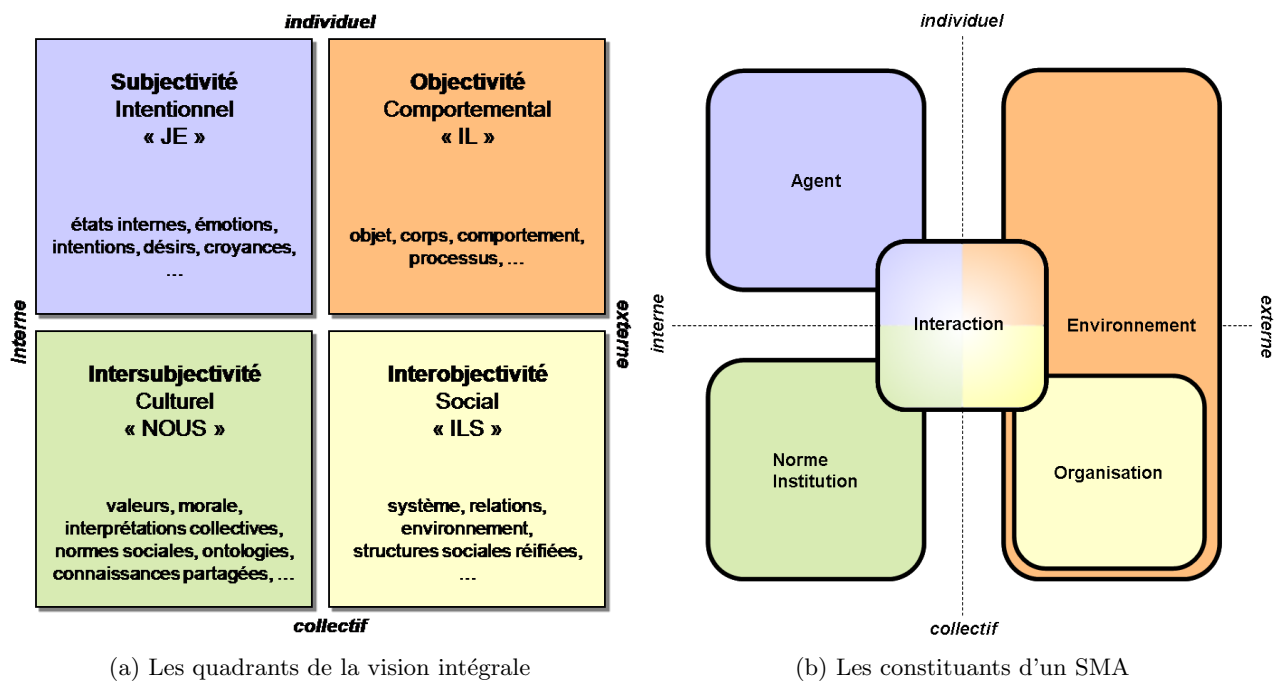


FIGURE 2.2 – Place des constituants des SMA dans les quatre quadrants de la vision intégrale de Wilber (selon [Tranier, 2007])

### L'équilibre entre le niveau d'autonomie et le niveau de contrôle

De manière générale, les organisations sont décrites par un ensemble de règles de fonctionnement, qui portent par exemple sur les rôles que les agents endossent. Ce sont des contraintes qui pèsent sur l'autonomie des agents, dont ils doivent s'accommoder, mais ce sont aussi des ressources, qui permettent aux agents d'accomplir leurs objectifs.

L'autonomie des agents ainsi permise rend plus difficile le contrôle et la prédiction du comportement du système.

Selon [Tranier, 2007] :

«Il s'agit de trouver le bon compromis entre le niveau d'autonomie et le niveau de contrôle. Si le niveau de contrôle est absolu alors le système devient totalement prévisible. Or l'intérêt du paradigme multi-agent est justement d'apporter des réponses pour les problèmes dont on n'est pas en mesure de prévoir à l'avance une bonne solution. Mais à l'inverse, si l'autonomie des agents est trop importante le système risque alors d'être chaotique et contre performant. Par exemple, si chaque agent utilise son propre langage de communication, aucun n'est en mesure de comprendre les autres. La communication ici n'est qu'un exemple, il en va de même pour toutes les formes d'interactions. De manière générale, plus l'autonomie des agents est importante, et plus la complexité de la coordination de leur comportement est importante, ce qui inévitablement réduit la performance globale du système.»

Le concepteur du SMA doit alors équilibrer le degré d'autonomie des agents et le degré de contrôle du système, en définissant les rôles et les normes du système ([Penserini et al., 2009b]).

## 2.1.2 Exemples de modèles organisation-centrés

### AGR et AGRE

AGR (pour Agent Groupe Rôle) est un modèle organisation-centré basé sur les notions d'agent, de groupe et de rôle [Ferber and Gutknecht, 1998]. La figure 2.3 présente le méta-modèle d'AGR. Un agent peut jouer plusieurs rôles et appartenir à plusieurs groupes. Un groupe est un ensemble d'agents qui contribuent à la réalisation de l'une des fonctions du système ; il fournit un contexte pour des schémas (patterns) d'activités. Un groupe est d'un certain type (ou structure), qui décrit sa composition, ses rôles et éventuellement ses normes et les protocoles qui y ont cours. Un rôle représente la fonction d'un agent dans un groupe. Il est d'un certain type, qui décrit le comportement attendu par un agent qui l'endosse, ainsi que les relations entre ce type de rôle et les autres (ce que les auteurs appellent les contraintes structurelles). Un agent peut jouer plusieurs rôles dans un même groupe et un même rôle peut être joué par plusieurs agents.

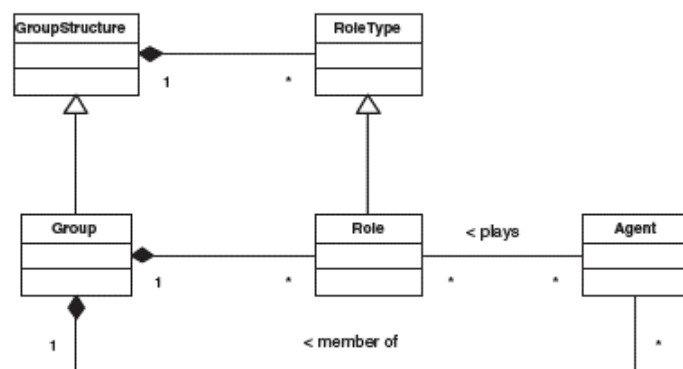


FIGURE 2.3 – Méta-modèle UML d'AGR (tiré de [Ferber et al., 2004])

Le modèle AGR se base sur les trois principes suivants :

1. Il permet de décrire les constituants (structure et activité) du système, pas son comportement.
2. Il ne permet pas de décrire les états internes des agents, mais seulement avec qui chacun peut interagir. Cela rend cette approche indépendante du type d'agent (réactif ou cognitif), de la façon dont sont structurés les croyances et les objectifs des agents.
3. Il permet de décomposer le système en groupes. Chaque groupe définit un contexte d'interaction connu de chacun de ses membres, mais ignoré par les agents qui n'appartiennent pas au groupe.

Le modèle AGRE (pour Agent Groupe Rôle Environnement) est basé sur le modèle AGR, auquel il ajoute la notion d'*environnement* [Ferber et al., 2004]. L'environnement peut être spatial ou social. Il est subdivisé en **espaces**, dans lesquels sont situés les agents. Dans un certain espace, les actes d'un agent (action ou perception) sont effectués selon un certain **mode** qui spécifie la façon dont l'action s'effectue ou se manifeste.

## MOISE et MOISE+

MOISE et son extension MOISE+ (pour Model of Organization for multi-agent SystEms) est un modèle organisation-centré qui permet de spécifier les dimensions *structurelles*, *fonctionnelles* et *déontiques* (ou normatives) d'un SMA [Hübner et al., 2002].

La spécification structurelle décrit les groupes, les rôles et les relations entre les rôles d'une organisation.

Plusieurs types de relations, orientées, sont définis :

1. La relation d'acointance d'un rôle  $\rho_1$  vers un rôle  $\rho_2$  indique qu'un agent qui endosse  $\rho_1$  peut connaître les agents qui endossent  $\rho_2$ .
2. La relation de communication indique qu'un agent qui endosse  $\rho_1$  peut communiquer avec les agents qui endossent  $\rho_2$ .
3. La relation d'autorité définit une structure de contrôle entre les rôles.
4. Enfin, la relation de compatibilité entre  $\rho_1$  et  $\rho_2$  indique qu'un agent qui endosse  $\rho_1$  est autorisé à endosser  $\rho_2$  et inversement.

Plusieurs relations peuvent exister entre deux rôles. Ces relations entre les rôles permettent de rendre compte d'une grande variété de relations entre les agents. L'exemple traditionnellement associé à ce modèle est une équipe de football.

Au niveau individuel, une équipe est définie par des rôles : gardien, ailier, avant-centre, entraîneur, capitaine etc. La relation de compatibilité entre rôles permet par exemple à un agent d'être à la fois capitaine et gardien. La relation d'autorité entre les rôles intervient par exemple entre les rôles entraîneur et joueur : l'entraîneur donne les ordres aux joueurs, qui doivent les suivre. Au niveau collectif, on peut diviser les joueurs en deux groupes : attaquants et défenseurs, chacun poursuivant des objectifs propres (marquer et défendre).

La spécification fonctionnelle décrit la décomposition des objectifs de l'organisation en *plans* d'action, qui sont répartis entre les agents sous formes de *missions* qu'ils s'engagent à accomplir. Par exemple, l'objectif du groupe d'attaquants, marquer un but, se décompose en trois missions : «faire un tir cadré», «se positionner près des cages adverses» et «posséder ou passer la balle».

Enfin, la spécification déontique décrit les normes de fonctionnement de l'organisation, en reliant explicitement la spécification structurelle et la spécification fonctionnelle : elle indique les missions dans lesquelles les agents peuvent s'engager en fonction des rôles qu'ils endossent. Par exemple, un milieu défensif, dont l'un des objectifs est de rester placé en retrait dans l'axe, qui se retrouve en possession du ballon, ne pourra se replacer qu'après avoir effectué une passe.

## OperA

OperA est un modèle organisation-centré dont l'objectif est de refléter les exigences et les objectifs changeants d'une organisation en environnement ouvert [Dignum, 2004]. A la différence des deux précédents, il est fortement orienté vers la description d'organisations réelles et sépare explicitement les rôles des agents réels qui les endossent. Il est accompagné d'une méthodologie de modélisation et de conception qui s'inspirent de l'analyse des organisations réelles et de leurs modes de coordinations [Dignum and Weigand, 2003]. Un modèle OperA se compose de trois modèles complémentaires : le modèle organisationnel, le modèle social et le modèle d'interaction (voir figure 2.4).

Le modèle organisationnel décrit les rôles et leurs relations. Il se décompose en plusieurs structures :

- la structure sociale décrit les rôles, leurs objectifs et les dépendances entre les rôles.

- 
- The diagram illustrates a conceptual model with the following components and relationships:
- Normative Structure**
    - norm** (defined in the Normative Structure)
      - Deontic type
      - Subject (R)
      - content
  - Communicative Structure**
    - ontology** (defined in the Communicative Structure)
      - defines **concepts**
        - based on **norm**
    - CA** (defined in the Communicative Structure)
      - Illocution
      - Sender (R)
      - Receiver (R)
      - content
  - Social Structure**
    - Group**
      - Members (R)
      - Norms (N)
    - Role**
      - id
      - objectives
      - Sub-objectives
      - Norms (N)
      - Rights (N)
      - type
    - Dependency**
      - Depender (R)
      - Dependee (R)
      - objective
  - Interaction Structure**
    - Scene**
      - id
      - Roles (R)
      - results
      - patterns
      - Norms (N)
    - Transition**
      - type
    - Connection**
      - source
      - target
      - Rules (N)
  - Other Entities and Relationships**
    - User** (dashed oval) -avatar- **Agent** (oval)
    - Society Owner** (dashed oval) -design- **Organizational Model** (oval)
    - Interaction Model** (oval) -Consists of- **Interaction Contracts** (oval)
    - Interaction Contracts**
      - parities
      - clauses
      - protocol
      - Formed by **message** (oval)
    - Social Model** (oval)
      - agent **Role (R)** (oval)
        - clauses
      - form **rea** (oval)
    - Organizational Model**
      - Part of **Social Model**
      - Part of **Interaction Model**
      - Part of **Normative Structure**
      - Part of **Communicative Structure**
      - Part of **Social Structure**
      - Part of **Interaction Structure**
    - Relationships**
      - Agent** determine **Interaction Model**
      - Agent** determine **Social Model**
      - Interaction Model** is **Social Model**
      - Social Model** Consists of **Social Contracts** (oval)
      - Social Contracts** Consists of **agent Role (R)**
      - Interaction Model** Consists of **Interaction Contracts**
      - Interaction Model** is **Interaction Contracts**
      - Interaction Model** is **Message**
      - Interaction Model** is **rea**
      - Interaction Model** is **Scene**
      - Interaction Model** is **Transition**
      - Interaction Model** is **Connection**
      - Interaction Model** is **norm**
      - Interaction Model** is **ontology**
      - Interaction Model** is **CA**
      - Interaction Model** is **Group**
      - Interaction Model** is **Role**
      - Interaction Model** is **Dependency**
      - Interaction Model** is **Scene**
      - Interaction Model** is **Transition**
      - Interaction Model** is **Connection**
      - Interaction Model** is **norm**
      - Interaction Model** is **ontology**
      - Interaction Model** is **CA**
      - Interaction Model** is **Group**
      - Interaction Model** is **Role**
      - Interaction Model** is **Dependency**
      - Interaction Model** is **Scene**
      - Interaction Model** is **Transition**
      - Interaction Model** is **Connection**
      - Interaction Model** is **norm**
      - Interaction Model** is **ontology**
      - Interaction Model** is **CA**
      - Interaction Model** is **Group**
      - Interaction Model** is **Role**
      - Interaction Model** is **Dependency**
      - Interaction Model** is **Scene**
      - Interaction Model** is **Transition**
      - Interaction Model** is **Connection**
      - Interaction Model** is **norm**
      - Interaction Model** is **ontology**
      - Interaction Model** is **CA**
      - Interaction Model** is **Group**
      - Interaction Model** is **Role**
      - Interaction Model** is **Dependency**
      - Interaction Model** is **Scene**
      - Interaction Model** is **Transition**
      - Interaction Model** is **Connection**
      - Interaction Model** is **norm**
      - Interaction Model** is **ontology**
      - Interaction Model** is **CA**
      - Interaction Model** is **Group**
      - Interaction Model** is **Role**
      - Interaction Model** is **Dependency**
      - Interaction Model** is **Scene**
      - Interaction Model** is **Transition**
      - Interaction Model** is **Connection**
      - Interaction Model** is **norm**
      - Interaction Model** is **ontology**
      - Interaction Model** is **CA**
      - Interaction Model** is **Group**
      - Interaction Model** is **Role**
      - Interaction Model** is **Dependency**
      - Interaction Model** is **Scene**
      - Interaction Model** is **Transition**
      - Interaction Model** is **Connection**
      - Interaction Model** is **norm**
      - Interaction Model** is **ontology**
      - Interaction Model** is **CA**
      - Interaction Model** is **Group**
      - Interaction Model** is **Role**
      - Interaction Model** is **Dependency**
      - Interaction Model** is **Scene**
      - Interaction Model** is **Transition**
      - Interaction Model** is **Connection**
      - Interaction Model** is **norm**
      - Interaction Model** is **ontology**
      - Interaction Model** is **CA**
      - Interaction Model** is **Group**
      - Interaction Model** is **Role**
      - Interaction Model** is **Dependency**
      - Interaction Model** is **Scene**
      - Interaction Model** is **Transition**
      - Interaction Model** is **Connection**
      - Interaction Model** is **norm**
      - Interaction Model** is **ontology**
      - Interaction Model** is **CA**
      - Interaction Model** is **Group**
      - Interaction Model** is **Role**
      - Interaction Model** is **Dependency**
      - Interaction Model** is **Scene**
      - Interaction Model** is **Transition**
      - Interaction Model** is **Connection**
      - Interaction Model** is **norm**
      - Interaction Model** is **ontology**
      - Interaction Model** is **CA**
      - Interaction Model** is **Group**
      - Interaction Model** is **Role**
      - Interaction Model** is **Dependency**
      - Interaction Model** is **Scene**
      - Interaction Model** is **Transition**
      - Interaction Model** is **Connection**
      - Interaction Model** is **norm**
      - Interaction Model** is **ontology**
      - Interaction Model** is **CA**
      - Interaction Model** is **Group**
      - Interaction Model** is **Role**
      - Interaction Model** is **Dependency**
      - Interaction Model** is **Scene**
      - Interaction Model** is **Transition**
      - Interaction Model** is **Connection**
      - Interaction Model** is **norm**
      - Interaction Model** is **ontology**
      - Interaction Model** is **CA**
      - Interaction Model** is **Group**
      - Interaction Model** is **Role**
      - Interaction Model** is **Dependency**
      - Interaction Model** is **Scene**
      - Interaction Model** is **Transition**
      - Interaction Model** is **Connection**
      - Interaction Model** is **norm**
      - Interaction Model** is **ontology**
      - Interaction Model** is **CA**
      - Interaction Model** is **Group**
      - Interaction Model** is **Role**
      - Interaction Model** is **Dependency**
      - Interaction Model** is **Scene**
      - Interaction Model** is **Transition**
      - Interaction Model** is **Connection**
      - Interaction Model** is **norm**
      - Interaction Model** is **ontology**
      - Interaction Model** is **CA**
      - Interaction Model** is **Group**
      - Interaction Model** is **Role**
      - Interaction Model** is **Dependency**
      - Interaction Model** is **Scene**
      - Interaction Model** is **Transition**
      - Interaction Model** is **Connection**
      - Interaction Model** is **norm**
      - Interaction Model** is **ontology**
      - Interaction Model** is **CA**
      - Interaction Model** is **Group**
      - Interaction Model** is **Role**
      - Interaction Model** is **Dependency**
      - Interaction Model** is **Scene**
      - Interaction Model** is **Transition**
      - Interaction Model** is **Connection**
      - Interaction Model** is **norm**
      - Interaction Model** is **ontology**
      - Interaction Model** is **CA**
      - Interaction Model** is **Group**
      - Interaction Model</**

Le modèle social (qui ne doit pas être confondu avec la *structure sociale* du modèle organisationnel) décrit les acteurs réels et actifs qui endossent les rôles. Il permet de différencier les objectifs individuels des agents réels de ceux des rôles qu'ils endossent, qui sont ceux de l'organisation. Il décrit les attentes des individus, et permet d'évaluer leur degré de compatibilité avec les attentes des rôles qu'ils endossent, décrites par la structure sociale du modèle organisationnel.

La notion de contrat social permet de décrire les attentes des agents réels vis-à-vis de l'organisation, et les contraintes qui pèsent sur eux s'ils acceptent de jouer les rôles définis dans le modèle organisationnel. La formalisation en LCR (Logic for Contract Resolution) de ces contrats permet de vérifier la consistance et la compatibilité des rôles de l'organisation avec les objectifs des agents. Le modèle social permet en fait de vérifier si l'établissement d'un contrat entre les agents réels et les rôles que propose l'organisation peut «tenir», les agents pouvant entrer et sortir de l'organisation dynamiquement. [Dignum, 2004] va plus loin en parlant d'*enactment* de l'organisation par les agents, si les conditions et les attentes des agents sont remplies par les rôles que propose l'organisation : l'organisation telle qu'elle a été conçue s'incarne alors de façon effective dans la population d'individus et acquiert une existence tangible.

Deux modèles concernent les interactions : le modèle d'interaction, et la structure d'interaction du modèle organisationnel. Prenons l'exemple de pompiers et d'ambulances, déployés sur le terrain par une cellule de gestion de crise. La structure d'interaction du modèle organisationnel décrit à l'aide de scripts, l'enchaînement des scènes d'interaction entre les rôles, tels qu'ils ont été conçus par l'organisation. Par exemple, la cellule de crise peut spécifier qu'à chaque fois qu'une tâche sera déléguée d'un agent à l'autre, elle doit être informée au préalable, et valider la délégation. Cette procédure est formalisée par un script générique, entre les rôles définis dans la structure sociale du modèle organisationnel. Le modèle d'interaction, lui, permet d'instancier ces scripts sous la forme de contrats passés entre les agents qui endossent les rôles. Dans notre exemple, les pompiers ne pourront déléguer une tâche aux ambulances que si ceux-ci s'engagent à avertir la cellule de crise et à attendre la confirmation. Cette description sous forme de contrat (sur lesquels les agents peuvent raisonner) opérationnalise les scripts génériques de la structure d'interaction du modèle organisationnel.

### 2.1.3 La dimension normative des modèles organisation-centrés

Dans les modèles MOISE et OPERA, et dans de nombreux autres, on retrouve la notion de *norme*. La dimension normative d'un SMA est un autre moyen de spécifier le comportement des agents. Plus précisément, alors que la notion de rôle définit les buts et les capacités d'un agent, une norme décrit des règles comportementales *types* pour un ensemble d'agents ; c'est elle qui incite les agents à se comporter d'une certaine façon plutôt que d'une autre. Du point de vue de la sociologie, une norme recouvre un ensemble de « façons de faire, d'être ou de penser socialement définies et sanctionnées » [Boudon and Bourricaud, 2000].

Le terme «norme» recouvre en fait deux notions, souvent confondues lorsqu'elles sont employées dans le contexte des SMA : la norme «légale», en tant que règle énoncée par une institution qui la fait respecter et la norme «sociale» qui émerge du comportement des acteurs. La première est une *loi*, une réglementation, la seconde est un *comportement* normal, moyen, des individus.

Dans les SMA, les normes légales peuvent être exprimées au moyen de systèmes de logique déontique, qui définissent par exemple la *permission*, l'*obligation*, l'*interdiction*, le *droit* d'un agent à entreprendre une action. Alors que les normes légales sont définies par le concepteur du SMA, les normes sociales peuvent émerger des interactions entre les agents, nous y reviendrons en section 2.3.

Les normes ne sont pas catégoriques : non seulement elles peuvent évoluer, mais également, elles laissent ouverte la possibilité pour les agents de «tricher», et de s'éloigner du comportement normal attendu dans le système. Définir une norme, c'est aussi définir les conséquences de la désobéissance sur les agents (par exemple par des sanctions, ou l'exclusion de l'agent contrevenant du groupe auquel il appartient) lorsqu'ils décident de ne plus respecter les règles du jeu. Une norme s'accompagne donc de plusieurs éléments : sanctions, gratifications, possibilité de se s'y soustraire, qui interviennent lors de son interprétation.

L'application d'une norme en tant que loi suppose son interprétation. Cette interprétation prend en compte le contexte dans lequel la norme est interprétée, d'autant plus qu'il existe généralement plusieurs normes potentiellement incompatibles applicables à une situation.

Parfois, le contrôle et la sanction de l'application des normes sont confiés à un agent spécialisé appelé *agent normatif*, qui encadre le comportement des agents et se charge de faire respecter la norme au moyen de sanctions. Un agent normatif interprète la norme qu'il doit faire respecter, c'est

son interprétation qui va déterminer ses actes lors de la sanction. De même, un individu dépendant d'une norme a toujours la possibilité d'interpréter l'application de la norme, voire de ne pas la suivre. Connaître les normes à l'œuvre dans un système ne suffit donc pas à prédire la façon dont elles vont être suivies ou appliquées.

Pour reprendre les termes de [Luciano R. Coutinho, 2005], la dimension normative d'un modèle de SMA organisation-centré fait le lien entre la dimension structurelle et la dimension fonctionnelle de l'organisation. La norme permet aussi aux agents qui endossent plusieurs rôles de discriminer les alternatives qui se présentent à eux du fait de leurs différents rôles. Par exemple, un agent qui endosserait deux rôles pourrait se retrouver dans une situation où il doit atteindre deux objectifs contradictoires. Sans information supplémentaire, il ne peut pas choisir comment se comporter, à moins d'oublier temporairement l'un des rôles. La norme et l'interprétation qu'il en fait peuvent lui permettre de trancher, d'exercer son autonomie et de choisir quel objectif atteindre.

#### 2.1.4 Modèles organisation-centrés plus complexes

Certains modèles organisation-centrés vont plus loin dans la complexité des relations qui peuvent exister entre les agents, leurs rôles, leurs objectifs, et leurs relations. Il nous semble intéressant de nous attarder sur les modèles qui intègrent la notion d'*institution* et le mécanisme d'*engagement social*.

##### Les modèles d'organisation institutionnels

La notion d'institution ne se substitue pas à la notion d'organisation. Une organisation est concrète, perceptible, et œuvre pour accomplir ses objectifs, alors qu'une institution est une entité abstraite ; c'est un ensemble de codes, de règles, qui définit les échanges entre les individus et vise à les réguler. Une institution représente la «manière de faire» communément acceptée par les individus qui constituent l'organisation et qui donne du sens à leurs actions ; elle définit un cadre dans lequel le statut, le rôle ou les actions des acteurs sont reconnus et appréhendés par les autres. Les modèles institutionnels proposent donc un cadre destiné à réguler les échanges entre les individus qui constituent une organisation.

Plus concrètement, une institution dans un SMA est un ensemble de règles qui définissent la nature et les possibilités d'occurrences des échanges entre agents. C'est à la fois un ensemble de primitives de communications, une description de l'enchaînement de ces primitives qui donnent la marche à suivre lors des interactions des agents et les normes à l'œuvre lors des échanges.

##### le modèle ISLANDER

ISLANDER [Esteva et al., 2001] décrit les institutions à l'aide de quatre éléments :

- un cadre dialogique,
- des scènes,
- une structure performative,
- des normes.

Le cadre dialogique décrit l'essentiel de l'institution : l'ontologie du domaine, les éléments de langage associés et la distribution des rôles.

Une scène décrit les interactions entre les rôles, tandis que la structure performative permet de combiner les scènes entre elles, avec les entrées ou les sorties de rôles d'une scène à l'autre. Les échanges entre les agents se déroulent selon les enchaînements de scènes définis par la *structure performative*. Enfin, les normes décrivent à l'aide d'un ensemble de conditions les obligations d'un agent dans une scène. Chaque agent devant adopter un rôle défini par l'institution, il n'existe pas d'agent non reconnu par l'institution, qui serait susceptible d'endosser un rôle non-institutionnel.

Le pouvoir institutionnel est la composante du pouvoir d'un individu qui lui est conférée par son statut institutionnel. Ce pouvoir lui donne la capacité d'établir des *faits institutionnels*, c'est-à-dire des faits qui, parce qu'ils se déroulent dans le contexte de l'institution, ont aux yeux des autres une certaine valeur qu'ils n'auraient pas sinon. La notion d'institution introduit la notion de «pouvoir institutionnel», qui se distingue de la capacité matérielle. La capacité matérielle représente la capacité

propre d'un agent à effectuer des actions, alors que le pouvoir institutionnel ajoute à la capacité matérielle, la légitimité du statut institutionnel. Selon [Tranier, 2007], ISLANDER ne «capture pas toute la complexité de la notion d'institution car il y a une assimilation du contexte d'activité (ou environnement) et de l'institution. Ainsi, il n'est pas possible de distinguer dans ce formalisme la notion de possibilité et la notion de pouvoir institutionnel.».

De même que l'intérêt de la dimension normative d'un système réside dans la possibilité de considérer le comportement d'agents qui ne suivraient pas les normes, l'intérêt des modèles institutionnels réside selon nous dans la possibilité d'affecter ou non un statut institutionnel aux actions, aux contextes dans lesquels les agents interagissent, il nous semble qu'il faut permettre que des actions puissent être entreprises en dehors du contexte institutionnel.

## le modèle $MOISE^{Inst}$

$MOISE^{Inst}$  [Gâteau et al., 2005] est une extension de  $MOISE$  qui s'attache à formaliser les droits et les devoirs d'agents d'un système institutionnel. Ces droits sont spécifiés selon quatre points de vue : structurel, fonctionnel, contextuel et normatif. Les auteurs utilisent la plateforme SYNAI (SYstem of Normative Agents for Institutions) pour simuler le déroulement d'un jeu télévisé virtuel entre avatars par équipe, dont les règles sont décrites par  $MOISE^{Inst}$ .

Sont distinguées :

- la *spécification structurelle* (SS), qui décrit les rôles, les relations entre les rôles, les groupes et les rôles au sein de ces groupes. Les interactions entre agents ont lieu au sein des groupes.
- la *spécification fonctionnelle* (FS), qui décrit les buts qui doivent être atteints par le système.
- la *spécification contextuelle* (CS), qui définit les contextes qui influencent la dynamique de l'organisation, et les transitions possibles entre ces contextes. Dans l'article, les phases de jeu et leur enchaînement sont un exemple de cette spécification.
- la *spécification normative* (NS), qui est une extension de la spécification déontique de  $MOISE$  et qui décrit les droits et les devoirs des rôles et des groupes relatif à une mission (un ensemble de buts), dans un certain contexte.

La spécification normative fait le lien entre les spécifications structurelles, fonctionnelles et contextuelles. En particulier, les droits et les devoirs sont fonctions du contexte, et varient suivant les transitions. Une norme  $\mathcal{N}$  de NS est un n-uplet constitué des éléments suivants :

$$\mathcal{N} = \{id, poids, conditions, relation\ déontique, membre, responsable, contexte, acte, relation, date\ limite, sanction\}$$

Le *contexte* d'une norme donne le contexte dans lequel une norme est appliquée. La *condition* de  $\mathcal{N}$  exprime l'état de l'organisation dans lequel  $\mathcal{N}$  peut s'appliquer. Il se distingue du *contexte* de la norme en ce qu'il considère un état particulier, actualisé de l'organisation et des agents. Par exemple dans le cas du jeu télévisé, les conditions de la norme qui détermine la victoire d'une équipe porte sur des conditions (leur score actuel par exemple), alors que les contextes sont plus généraux (phase de finale par exemple).

Le *membre* (de l'institution) est le rôle ou le groupe auquel la norme s'applique. S'il s'agit d'un groupe, la norme porte sur tous les membres de ce groupe.

Le *responsable* de la norme est un rôle ou un groupe à qui il revient de s'assurer que la norme est bien respectée, et d'appliquer les sanctions en cas de violation.

Une norme relie le membre auquel elle s'applique à sa mission, telle que décrite dans la spécification fonctionnelle, par le biais d'une certaine *action*, selon une certaine *relation déontique*. La relation déontique de la norme qualifie le rapport entre l'action et le membre, en indiquant l'obligation, la permission ou l'interdiction pour le membre, d'entreprendre l'action.

La validité des normes est spécifiée par rapport à une *date limite*, selon une certaine *relation temporelle*, qui détermine si la règle est valide avant, après, ou à la date même.

Enfin, le *poids* d'une norme indique son niveau de priorité par rapport aux autres. En particulier, en cas de normes applicables simultanément et de poids égal, un agent peut décider de la norme à appliquer en considérant l'effet des sanctions sur l'atteinte de ses objectifs.



L'avantage de ce modèle est qu'il unifie tous les aspects (structurels, fonctionnel, contextuel et normatif) d'un système d'agents. La « portée » des normes est bien délimitée, notamment grâce à la notion de contexte, ce qui permet d'envisager des actions qui se dérouleraient en dehors du cadre de l'institution et de ses règles.

## AGREEN et MASQ

AGREEN est une extension du modèle AGRE (cf section 2.1.2) dédiée à la représentation d'institutions.

Au moyen de *règles de constitution*, AGREEN permet de relier les interactions qui se déroulent dans deux espaces distincts. Plus précisément, une règle de constitution décrit les conséquences que peuvent avoir les interactions dans un espace sur les interactions dans un autre espace. Les règles de constitution permettent de donner, s'il y a lieu, un statut institutionnel aux faits qui ont lieu lors des interactions. Elles construisent en quelque sorte la conséquence sociale d'une action.

Dans la continuité de AGREEN, [Stratulat et al., 2009] propose un modèle générique pour la description de SMA : MASQ (pour Multi-Agents System based on Quadrants). Il propose de décrire les SMA à partir de quatre concepts reliés aux quadrants de Wilber (voir figure 2.2) et de relations entre ces concepts :

- L'*esprit* correspond à l'architecture interne d'un agent (dimension interne individuelle de Wilber)
- L'*objet* représente l'état et le comportement d'une entité de l'environnement (dimension externe individuelle). Quand un objet a un esprit, il devient un corps, i.e. un agent.
- L'*espace brut* définit les structures nécessaires à l'interaction (dimension externe collective).
- La *culture* englobe les connaissances partagées, les ontologies, les normes, les interprétations collectives (ou institutionnelles) de certains faits, tout ce qui relève du collectif et du social (dimension interne collective).

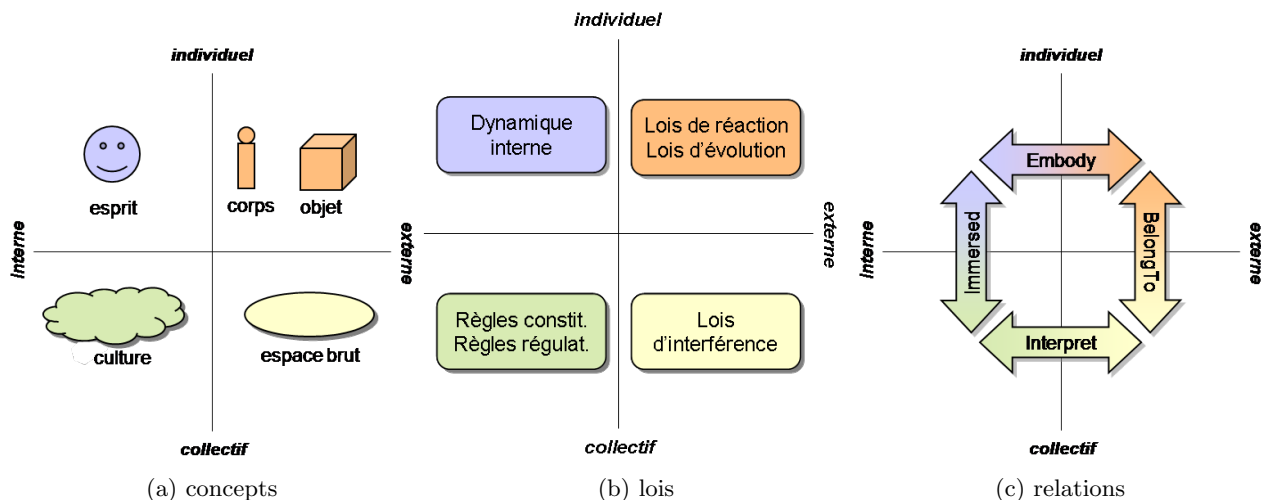


FIGURE 2.5 – Concepts, lois et relations mobilisés par le modèle MASQ(tiré de [Tranier, 2007])

Toutes les relations qui peuvent exister entre ces concepts sont décrites en détails dans [Tranier, 2007] (cf. figure 2.5).

La portée de MASQ est très générale, mais instancier un modèle d'une telle société semble une tâche difficile. Il nous semble intéressant que ce modèle s'éloigne des modèles de *systèmes* multi-agents et s'approche de modèles de *sociétés* d'agents, en abordant notamment les notions de connaissances partagées et de culture.

## L'engagement social

Comme les normes, l'*engagement social* est un moyen de coordonner l'action des agents dans une organisation. Alors que la norme est impersonnelle, l'engagement social est un contrat particulier

entre deux agents, le *débiteur* et le *crédeur*. Selon [Castelfranchi, 1995], les engagements sont les constituants de toute action collective. Ils permettent de faire le lien entre un agent et ses buts, entre une action et le plan dans lequel elle intervient, et entre les membres d'un collectif. Un engagement existe pour une durée déterminée : soit jusqu'à son accomplissement, soit jusqu'à ce qu'il soit annulé par les contractants, ou qu'on constate que sa réalisation est impossible. Castelfranchi distingue trois sortes d'engagement :

- l'engagement interne, entre un agent et une action,
- l'engagement social, entre deux agents, en présence d'un éventuel témoin,
- l'engagement collectif, qui concerne un groupe, est un engagement interne partagé vis-à-vis d'une action : entre chaque agent du collectif et l'action, il existe un engagement interne.

La théorie des engagements sociaux ne prend pas directement en compte les relations empstructurales de pouvoir et de dépendance imputables à l'organisation elle même, et à la définition de ses rôles et de son activité. C'est une approche individu-centrée pour appréhender les relations de pouvoir et de dépendance, qui sont vues comme des phénomènes qui émergent des engagements des acteurs [Castelfranchi et al., 1992]. On peut également faire référence à cette théorie sous le nom de théorie du pouvoir social, ou théorie de la dépendance.

Selon cette théorie certaines interactions, comme l'échange et la coopération, se basent sur la *complémentarité* des agents. Les travaux de Sichman proposent un mécanisme de raisonnement social permettant à des agents aux buts hétérogènes d'exploiter cette complémentarité et de former dynamiquement des coalitions pour atteindre ces buts [Sichman, 1998].

## Le système DEPINT

DEPINT est le nom du système multi-agents conçu pour illustrer les mécanismes de raisonnement social des travaux de Sichman. Un agent du système DEPINT est caractérisé par :

- Un ensemble de buts  $G$  ;
- Un ensemble d'actions  $A$  que l'agent peut entreprendre ;
- Un ensemble de ressources  $R$  que l'agent contrôle ;
- Un ensemble de plans  $P$  pour poursuivre  $G$ , qui nécessitent des actions ou des ressources que l'agent n'a pas forcément à sa disposition.

A partir de ces caractéristiques sont distinguées deux sortes de pouvoir social :

- Le *pouvoir de but* : un agent  $i$  a le pouvoir de  $g$  s'il peut atteindre le but  $g$ .
- Le *pouvoir social* : un agent  $i$  a du pouvoir sur  $j$  en ce qui concerne le but  $g$  s'il peut l'aider ou l'empêcher d'atteindre un but  $g$

Plusieurs relations de dépendances peuvent alors être distinguées :

- la dépendance *disjonctive* : soit lorsqu'il existe une alternative de partenaires, si l'action nécessaire pour atteindre un but  $g$  peut être réalisée par plusieurs agents, soit lorsqu'il existe une alternative d'action, quand un but  $g$  peut être atteint par la réalisation de plusieurs actions, qui peuvent être effectuées par différents agents.
- la dépendance *conjonctive* : soit lorsque la dépendance est multi-partite : quand un ensemble d'actions  $a_1, a_2, \dots, a_n$  est nécessaire pour atteindre un but  $g$ , et que chacune des actions peut être effectuée par un agent différent, soit lorsque la dépendance est multi-but : quand un agent  $i$  dépend d'un autre agent  $j$  pour la réalisation de plusieurs buts.

Selon les cas, la relation de dépendance peut être *bilatérale* (les agents  $i$  et  $j$  dépendent l'un de l'autre). La dépendance bilatérale peut être *mutuelle*, lorsque  $i$  et  $j$  partagent un même but, et que le plan  $p$  pour l'atteindre comporte (au moins) deux actions  $a_1$  et  $a_2$  pour lesquelles  $i$  et  $j$  sont dépendants l'un de l'autre. Par exemple,  $i$  peut faire  $a_1$  mais pas  $a_2$ , et  $j$  peut faire  $a_2$  mais pas  $a_1$ . La dépendance bilatérale mutuelle mène à la *coopération*.

La dépendance peut aussi être *réciproque*, lorsque deux agents  $i$  et  $j$  ont des buts  $g_i$  et  $g_j$  différents, mais dépendent de l'autre pour l'atteindre. La dépendance bilatérale réciproque mène à l'*échange social*.

Ces relations de dépendance et de pouvoir sont *objectives* ; elles existent du fait des buts et des

capacités des agents, mais ceux-ci n'en ont pas forcément conscience. Ces relations objectives peuvent être internalisées par perception, communication ou inférence ;, elles deviennent alors *subjectives*.

Les situations de dépendances décrivent la structure des relations que les agents peuvent entretenir. A partir de ces relations, on peut appliquer la procédure suivante pour expliquer ou prédire les interactions sociales entre agents :

1. On part d'un ensemble de relations objectives de pouvoir et de dépendance.
2. Ces relations sont internalisées par les agents, et deviennent subjectives.
3. Génération de nouveaux buts : si  $i$  dépend de  $j$  pour le but  $g$ ,  $i$  adopte un nouveau but : influencer  $j$ .
4. Recherche d'une stratégie pour influencer  $j$  : par exemple attendre que  $j$  adopte le but  $g$  de  $i$ .
5. Génération de moyens : en cas de dépendance mutuelle, on propose une coopération, en cas de dépendance réciproque, on propose un échange.
6. Les actions sont entreprises.

Si des buts sont atteints, les relations objectives de dépendance et de pouvoir permettent d'expliquer et de justifier les interactions sociales qui se sont produites. Une partie significative de [Sichman, 1998] expose les mécanismes de révisions des croyances qui sont mis en œuvre lors du processus d'internalisation des relations (de pouvoir et d'influence) objectives en relations subjectives ; nous ne les aborderons pas.

## Engagements, pouvoir et obligations dans un groupe

Nous venons de voir comment la théorie des engagements a été utilisée pour créer des coalitions entre agents sur la base de leur relations de dépendance. Ces coalitions sont «volatiles» au sens où elles n'existent que pour la réalisation d'une action collective.

Nous nous intéressons maintenant à l'application de cette théorie dans une structure plus stable que la coalition : le groupe. Nous présenterons dans un premier temps les nouvelles relations de pouvoir et de dépendances qui apparaissent dans un contexte de groupe, avant de nous pencher sur l'introduction de la notion d'obligation, qui permet de «responsabiliser» le comportement d'acteurs membres d'un groupe. Ici, un groupe se distingue de la simple coalition et d'une sous-organisation par le fait qu'il possède des caractéristiques qui lui sont propres, et qui ne sont ni la simple somme de celles de ses membres, ni un sous ensemble de celles de l'organisation.

[Carabelea et al., 2004] utilise la théorie des engagement sociaux pour pour décrire formellement les relations de pouvoir entre agents et groupes d'agents et surtout pour permettre aux agents de raisonner sur les implications de leur appartenance à un groupe.

Comme dans les travaux de Sichman, il est question de formaliser les différentes situations de pouvoirs et de dépendances, en distinguant notamment le pouvoir de but, qui repose sur les capacités propres de l'agent, et le pouvoir social, issu de la dépendance objective des agents. En proposant des coopérations et des échanges de buts, les agents effectuent des *transactions* de pouvoir.

L'existence de structure de groupes va créer des contextes spécifiques qui vont modifier les relations de pouvoir entre les agents. Un groupe est défini comme un ensemble d'agents coordonnés par un ensemble de rôles propres au groupe, de relations d'autorité entre ces rôles, et d'une norme qui spécifie le comportement des agents qui endossent ces rôles. La constitution d'un groupe nécessite aussi que les agents membres disposent d'un moyen de communiquer, et la définition explicite des frontières de ce groupe.

L'introduction des relations d'autorité entre les rôles d'un groupe introduit de nouvelles relations entre les membres du groupes, d'autres sources de pouvoir et de dépendances. S'il existe une relation d'autorité entre deux rôles  $r_1$  et  $r_2$ , un agent  $i$  qui joue le rôle  $r_1$  détient du pouvoir sur un agent qui joue le rôle  $r_2$ , et peut exiger de lui qu'il accomplisse certaines actions. On peut donc se demander l'intérêt qu'aurait un agent à vouloir intégrer un groupe, sachant qu'il va subir les contraintes qui pèsent sur son rôle du fait de ces relations d'autorité. C'est en fait un échange de contraintes : un agent isolé

n'est pas autonome pour la réalisation de ses buts, il ne dispose pas des ressources nécessaires à son action, et lorsqu'il intègre un groupe, il subit d'autres contraintes : du fait des relations d'autorité entre les rôles, il subira le pouvoir d'autres agents. En contrepartie, un agent qui intègre un groupe gagne de nouveaux pouvoirs : il a accès aux ressources du groupe, aux capacités de ses membres et aux opportunités de négociation qu'elles autorisent. En outre, un agent du groupe bénéficie d'une certaine sécurité : les autres membres du groupe ne «tricheront pas» dans leurs échanges avec lui, des sanctions étant prévues en cas de non-respect des règles (normes) de fonctionnement du groupe.

La formalisation du contexte de groupe et des règles à l'œuvre en son sein permet d'expliquer les relations sociales qui pourraient se former dans la population d'agents. Cependant, [Carabelea et al., 2004] n'indique pas comment les membres d'un groupe peuvent décider collectivement d'accepter ou non un agent dans le groupe, comment fixer et assigner les objectifs du groupe, ni comment la rationalité d'un agent permettrait de choisir d'intégrer ou non un groupe existant.

Dans l'objectif de doter des agents d'une rationalité capable de trancher dans ces situations, [Boella, 2003] et [Boella and Lesmo, 2001] proposent un mécanisme de coordination «anticipante» pour réguler l'autonomie des agents en introduisant un aspect déontique : l'*obligation*.

Les obligations d'un agent se distinguent de ses objectifs par le fait qu'une obligation est un *contrat* passé entre l'agent et l'agent normatif chargé de sanctionner les agents qui ne respectent pas leurs obligations. Il est tout à fait possible qu'un agent se retrouve devant des obligations contradictoires, ou trop contraignantes, et décide de ne pas les suivre. Il est possible de l'envisager car l'agent normatif n'est ni infallible, ni omniscient. Un agent qui violerait sciemment une norme a donc une chance d'échapper aux sanctions, et d'exploiter cette possibilité dans son comportement.

Partant du fait que la coopération et l'obligation impliquent une modification des buts et des actions des agents, et que ces comportements ont des conséquences sur les autres, l'évaluation des alternatives qui s'offrent à un agent ne peut pas se faire uniquement sur la base d'informations locales : il faut considérer la (probable) réaction des autres et disposer de critères pour évaluer les alternatives.

Cet aspect est géré par un planificateur hiérarchique appelé DRIPS [Haddawy and Suwandi, 1994] qui permet la modélisation de l'enchaînement causal des actions et permet d'anticiper la réaction des autres. Cela conduit à pouvoir mettre en évidence les types de comportements suivants :

- le *comportement d'assistance* : l'agent examine les buts des autres, et si leur atteinte est bénéfique au groupe et que sa participation est nécessaire, il tente de les atteindre.
- la *communication* : c'est un cas particulier du comportement d'assistance. Lorsqu'un agent  $i$  dépend d'informations pour entreprendre son action, un autre agent  $j$  qui a accès à ces informations peut avoir un comportement d'assistance particulier en communiquant à  $i$  ces informations.
- la *non-bienveillance* : qu'un agent prenne en compte la fonction d'utilité du groupe ne signifie pas qu'il doive systématiquement aider un autre membre de son groupe. La coopération doit se justifier du point de vue des objectifs de l'acteur qui l'accepte.
- la *hiérarchisation* du groupe : s'il apparaît que certaines actions sont plus coûteuses pour un agent qu'un autre au sein d'un groupe, les paramètres de la fonction d'utilité des agents sont ré-ajustés de façon à optimiser le coût des actions du groupe.
- l'*évitement de conflit* par anticipation : les agents pouvant anticiper les conséquences de leurs actions, s'il s'avère qu'une des actions de leur plan peut interférer de façon préjudiciable avec le plan d'un autre membre du groupe, ces actions sont pondérées de façon à ne pas être choisies en priorité.
- la *prestation de service* : un agent  $i$  d'un groupe peut déléguer une étape de son plan d'action à un autre agent  $j$  qui n'appartient pas au groupe, sans que  $j$  intègre le groupe.
- la *dissolution* d'un groupe : lorsque l'objectif que poursuit un groupe est atteint, ou qu'il est devenu impossible à atteindre ou enfin qu'il est devenu caduque, il est dissout. Un agent peut aussi être amené à quitter son groupe, si y rester lui coûte plus qu'il ne lui rapporte.

L'introduction d'obligations dans les relations entre agents induit la notion de *responsabilité*. Quand un agent intègre un groupe, il est de sa responsabilité d'accepter de coopérer dans le futur. Il pour

cela motivé par la sanction implicite en cas de non-coopération. La coopération d'un agent apparaît donc comme un aspect de l'obligation qu'il a contracté quand il a intégré le groupe, une conséquence des caractéristiques de ses nouvelles relations. En fait, c'est la structure de l'organisation qui incite les agents à coopérer.

## 2.2 La modélisation d'organisations pour le design et le diagnostic organisationnel

Le design organisationnel est la conception et la mise en forme d'organisations (le plus souvent des entreprises). Une organisation poursuit des objectifs et elle mobilise des ressources, y compris humaines, pour les atteindre, selon une certaine stratégie. De façon à concevoir une organisation efficace, le concepteur choisit un certain *modèle d'organisation* qui consiste à définir des rôles et des statuts, des processus opérationnels, un mode de direction, etc... Les organisations étudiées dans ce domaine sont des organisations réelles, aux objectifs et aux contraintes spécifiques.

Les objectifs du design organisationnel sont la mise en place d'une structure cohérente par rapport aux objectifs poursuivis, et l'évaluation de la performance opérationnelle qui découle de la structure.

Dans ce cadre, la modélisation informatique d'une organisation permet de définir des indicateurs de performance, soit par l'analyse algorithmique de sa structure, soit par la simulation du comportement de ses constituants. Ces indicateurs sont utilisés pour évaluer l'adéquation entre la structure de l'organisation et les objectifs qu'elle poursuit, ainsi que la stratégie qu'elle met en œuvre.

Le management organisationnel se distingue du design organisationnel par ses objectifs : alors que le design organisationnel se concentre sur la construction de la structure de l'organisation, le management organisationnel s'intéresse aux processus qui se déroulent au sein de l'organisation. Les objectifs du management organisationnel sont de s'adapter aux évolutions endogènes et exogènes (voire les anticiper), de planifier les actions des membres de l'organisation, de coordonner et piloter ces actions. Selon [Crener and Monteil, 1981] :

«A partir de la connaissance rigoureuse des faits économiques, sociaux, humains et des opportunités offertes par l'environnement ou qui pèsent sur l'entreprise, le management est une façon de diriger et de gérer rationnellement une organisation, d'organiser les activités, de fixer des buts et objectifs, de bâtir des stratégies en mobilisant les ressources.»

Nous présentons dans cette section des travaux qui portent sur la mesure de la performance organisationnelle avec d'une part l'évaluation de la performance de la structure d'une organisation, d'autre part l'évaluation de la performance de la modification de la structure d'une organisation. Nous présenterons ensuite des techniques utilisées pour mesurer la performance organisationnelle dans le cadre particulier de la gestion de crise, et nous terminerons par des travaux où la performance organisationnelle est évaluée sous l'angle de l'apprentissage organisationnel.

### 2.2.1 Évaluation de la performance de la structure d'organisations

La construction d'une organisation de taille conséquente est une tâche complexe. Il s'agit pour le concepteur de trouver le meilleur moyen d'employer les ressources dont il dispose pour obtenir une organisation fonctionnelle, mais surtout efficace. Dans ce cadre, la théorie de la décision fournit au concepteur un ensemble d'outils qui l'assiste dans l'évaluation des alternatives qui s'offrent à lui. Que ce soit pour l'actualisation d'une organisation existante ou pour re-concevoir une organisation de fond en comble,

Nous commençons par présenter un modèle qui permet d'analyser la structure d'une organisation, avant de nous intéresser à sa modification et aux coûts associés, par l'intermédiaire d'un autre modèle.

#### PCANS : Un modèle d'analyse de la structure d'une organisation

PCANS est un modèle analytique qui vise à représenter les relations complexes d'interdépendance entre les membres d'une organisation [Krackhardt and Carley, 1998]. Il s'agit de formaliser une or-

ganisation selon l'architecture  $C^2$  (pour Composants Communicants) qui représente les membres de l'organisation. Trois ensembles sont utilisés pour décrire une organisation.

- $I$  est l'ensemble des individus membres de l'organisation ;
- $T$  est l'ensemble des tâches à effectuer par l'organisation ;
- $R$  est l'ensemble des ressources mobilisées pour l'exécution des tâches.

PCANS est le nom d'un ensemble de cinq matrices qui décrivent les relations qui peuvent exister entre les éléments de ces trois ensembles :

- La matrice  $P$  (Precedence) donne les relations d'ordre entre les tâches de l'ensemble  $T$ . Le terme général de la matrice  $P_{i,j}$  vaut 1 si la réalisation de la tâche  $T_i$  doit précéder celle de  $T_j$ , et 0 sinon.
- La matrice  $C$  (Commitments of ressources) indique les ressources de  $R$  engagées par la réalisation des tâches de  $T$ . Son terme général  $C_{i,j}$  vaut 1 si une ressource  $j$  est engagée dans la réalisation d'une tâche  $i$ .
- La matrice  $A$  (Assignment of tasks) décrit l'affectation des tâches aux individus.  $A_{i,j}$  vaut 1 si l'agent  $i$  est assigné à la réalisation de la tâche  $j$ .
- La matrice  $N$  (Network of relations) est la matrice d'adjacence du réseau des relations entre les individus de l'organisation.
- La matrice  $S$  (Skills) décrit les compétences des individus de  $I$  à manipuler les ressources de  $R$ . Le terme général  $S_{i,j}$  vaut 1 si le membre  $I_i$  peut mobiliser la ressource  $R_j$ .

A l'exception de  $N$ , toutes ces matrices peuvent être transposées pour inverser le sens de la relation entre les éléments de  $I$ ,  $T$  et  $R$ .

La multiplication d'une de ces matrices par une autre (sous réserve que leurs tailles autorisent cette opération) fait apparaître des relations d'ordre supérieur. C'est un résultat bien connu de l'analyse des réseaux sociaux par leur matrice d'adjacence. Les produits simples s'interprètent bien : par exemple, un terme  $i, j$  non nul de la matrice  $N.N$  indique que les individus  $i$  et  $j$  ont au moins une relation commune, l'équivalent des «amis d'amis». Autre exemple, la matrice  $A.A^T$  indique le nombres de tâches que deux individus de  $I$  doivent effectuer en commun.

Un tel produit de matrices, qui exprime des relations composites, est appelé un «mot».

La structure des interdépendances entre les ensembles  $I$ ,  $T$  et  $R$  peut être explorée au moyen de différents mots de  $PCANS$ , et ce de manière très intuitive, pour trouver des relations «à la demande», c'est-à-dire du type et de l'ordre que l'on souhaite.

Des mots plus évolués (plus «longs») représentent des relations plus complexes. La matrice de précédence par exemple, donne les tâches qui doivent être exécutées l'une après l'autre. Multiplier  $P$  à gauche par la matrice d'affectation  $A$  donne les individus qui doivent attendre qu'une tâche soit terminée avant de pouvoir effectuer la tâche qui leur est affectée. Multiplier à droite le produit  $AP$  par la matrice d'affectation transposée  $A^T$  donne ce que l'on pourrait appeler la matrice de «dépendance par tâches» : la matrice  $APA^T$  indique si un individu  $i$  doit avoir terminé une tâche avant qu'un autre individu  $j$  puisse commencer la sienne. Pour obtenir des relations de dépendances séquentielles d'ordre supérieur, et considérer des séquences de tâches plus longues, il suffit de multiplier  $P$  par elle même un certain nombre de fois. Le mot  $APPPA^T$  par exemple donne la dépendance des individus pour la réalisation d'une séquence de trois tâches consécutives.

Les relations de dépendance réciproque entre deux individus sont plus complexes à exprimer : il faut pour cela considérer la «direction» de la dépendance. Donnons un exemple : soient trois tâches  $T_1, T_2, T_3$ , qui dépendent l'une de l'autre selon la séquence  $T_1 \rightarrow T_2 \rightarrow T_3$ . Supposons qu'un individu  $a$  soit responsable de l'exécution des tâches  $T_1$  et  $T_3$ , et qu'un individu  $b$  soit responsable de l'exécution de la tâche  $T_2$  (voir le schéma figure 2.6).

Dans ce cas simple,  $a$  dépend de  $b$  pour la réalisation de  $T_2$  et  $b$  dépend de  $a$  pour la réalisation de  $T_1$ . Le mot  $APA^T$  exprime la «dépendance par tâche» d'ordre 1 des individus dans la direction «chronologique» de la séquence de tâches, et donnent les individus «qui attendent». La transposée de ce mot,  $(APA^T)^T$  permet de «remonter» la séquence de tâches dans l'autre direction, c'est-à-dire dans l'ordre chronologique inverse, et donne les individus «attendus». Dans notre exemple, le mot

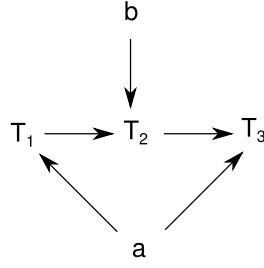


FIGURE 2.6 – Dépendance réciproque de  $a$  et  $b$  dans une séquence de trois tâches

$APA^T$  capture la dépendance de  $b$  envers  $a$  pour la séquence de tâches  $T_1 \rightarrow T_2$ . Le mot  $(APA^T)^T$  capture la dépendance de  $a$  envers  $b$  pour la séquence de tâches  $T_2 \rightarrow T_3$ . Dans notre exemple, la dépendance réciproque de  $a$  et  $b$  est mise en évidence en considérant les deux mots à la fois. Si on considère qu'un terme non nul de ces mots est un couple d'individus, un mot nous donne l'ensemble des couples d'individus en situation de dépendance dans une certaine direction. La mise en évidence des relations de dépendance réciproque se fait en considérant l'intersection des ensembles de couples que décrivent les deux mots  $APA^t$  et  $(APA^T)^T$ . Nous utiliserons les opérateurs ensemblistes d'union et d'intersection «directement» sur les mots pour désigner l'intersection ou l'union sur les ensembles de couples que les termes non nuls que donne un mot.

Pour capturer la dépendance réciproque d'ordre supérieur, i.e. pour des séquences de tâches, il faudra considérer l'intersection de mots plus longs :  $APPA^T$  et  $(APPA^T)^T$ ,  $APPPA^T$  et  $(APPPA^T)^T$ , etc.

Les dépendances réciproques d'ordre supérieur peuvent comporter des cycles. Supposons par exemple que  $a$  soit en situation de dépendance d'ordre 1 envers  $b$ , et  $b$  soit en situation de dépendance envers  $a$  d'ordre 2 dans une séquence de tâches cyclique (voir schéma figure 2.7).

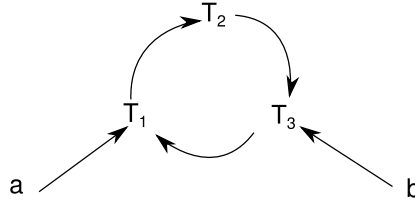


FIGURE 2.7 – Dépendance réciproque de  $a$  et  $b$  dans un cycle de trois tâches

Pour mettre en évidence les dépendances réciproques d'ordre supérieur, éventuellement cycliques, il faut procéder en trois temps. Il faut tout d'abord considérer l'union des mots qui mettent en évidence la dépendance dans l'ordre chronologique des séquences de tâches, jusqu'à un certain ordre  $n$ . On obtient un ensemble de couples d'individus en situation de dépendance suivant l'ordre chronologique, que nous notons  $D$ .

$$D = \bigcup_{i=1}^n AP^i A^T$$

Puis il faut considérer l'union des mots qui mettent en évidence la dépendance dans l'ordre chronologique inverse. On obtient un ensemble de couples d'individus en situation de dépendance suivant l'ordre chronologique inverse, que nous notons  $D'$ .

$$D' = \bigcup_{i=1}^n (AP^i A^T)^T$$

Enfin, il faut réaliser l'intersection des deux ensembles de couples en situations de dépendance. Cela nous donne l'ensemble des couples en situation de dépendance réciproque, que nous notons  $DR$ .

$$DR = D \cap D'$$

PCANS permet de mettre en évidence des relations de dépendances complexes, et permet en outre de créer des mots correspondant à des interrogations spécifiques, ou du moins qui se rapprochent

le plus de la combinaison de relations entre individus, tâches et ressources que le modélisateur veut étudier.

## La performance de la modification de la structure d'une organisation

[Butts and Carley, 2007] présente un modèle et plusieurs algorithmes pour assister le concepteur dans la tâche difficile de modification de la structure d'une organisation. Basé sur la théorie de la décision, ce travail porte une attention particulière au coût et au risque de chaque transformation structurelle. Il fournit un ensemble de mesures destinées à évaluer la performance de modifications structurelles d'organisations. En outre, il évalue la capacité d'une organisation à maintenir sa structure sous l'effet de perturbations exogènes.

## Définitions

La structure  $S$  d'une organisation est définie par un ensemble de graphes  $S = \{G_1, \dots, G_n\}$ . Les nœuds de ces graphes correspondent aux individus de l'organisation et les arêtes à des relations entre ces individus, sans en préciser davantage la nature. On appelle *univers structurel*, noté  $\mathbb{G}$ , l'ensemble des structures d'organisation auxquelles on s'intéresse.

Une application  $T : \mathbb{G} \rightarrow \mathbb{G}$  est appelée une *transformation structurelle* dans l'univers  $\mathbb{G}$ .

L'ensemble des transformations possibles est appelé l'*univers des transformations* et il est noté  $\mathbb{T}$ . Une transformation structurelle  $T$  est par exemple l'ajout ou le retrait d'un nœud des graphes de  $S$ . Dans le cas d'une entreprise par exemple Cela correspond à l'embauche ou au licenciement d'un membre de l'organisation.  $T$  peut aussi être une création ou une suppression d'arêtes dans l'un des graphes de  $S$  correspondant par exemple à une redéfinition de la hiérarchie ou des rôles, au sein de l'organisation.

Une attention particulière est attachée portée au *temps de transformation* : une transformation  $T$  n'est pas instantanée, il s'écoule un certain temps entre la décision de transformation, son application, et le moment où on peut considérer que la réalisation transformation est effective. Ce temps est distingué du *gain* de la transformation, au sens de la quantité de ressources engagées pour effectuer la transformation. L'intervalle de temps entre l'initiation la décision d'une transformation  $T$  et sa réalisation effective est appelé *temps d'implémentation* de la transformation, noté  $\Delta(T)$ . Le temps d'implémentation est uniquement fonction de la transformation, pas de la structure à laquelle elle s'applique.

Le produit de l'ensemble  $\mathbb{G}$  par l'ensemble  $\mathbb{T}$  définit un *multigraphe de transformation* (dont chaque nœud est un ensemble de graphes) qui associe toutes les structures et toutes les transformations possibles, que l'on peut voir comme le graphe des états accessibles de la structure de l'organisation.

Dans ce multigraphe, un nœud est une structure particulière de l'organisation, et une arête est une transformation structurelle. Un chemin dans ce multigraphe est donc une succession de transformations, qui décrit les étapes d'un processus de transformation structurelle. Partant d'une structure initiale  $S_{ini}$ , le chemin de transformations qui la transforme en une structure finale  $S_{fin}$  peut être décrit soit comme la succession des structures  $S_{ini}, S_2, \dots, S_{fin-1}, S_{fin}$  par laquelle passe l'organisation, soit comme la succession des transformations  $T_1, \dots, T_{fin-1}$  qui sont appliquées à partir de la structure initiale.

## Fonctions de coût et de gain

Afin de décrire la préférence du concepteur entre plusieurs configurations et transformations structurelles, une fonction de gain  $\pi$  est définie pour chaque transformation  $T$  et chaque structure  $S$  par laquelle peut passer l'organisation. Si le gain d'une transformation est négatif, on parlera de *coût* de la transformation. Le gain d'une transformation  $T$  vaut  $\pi(T)$ , et si l'organisation reste dans une structure  $S$  pendant un temps  $t$ , le gain correspondant est de  $t\pi(S)$ .



Cette fonction est supposée par hypothèse additive, c'est-à-dire que  $\pi(T_1, T_2) = \pi(T_1) + \pi(T_2)$  et que si l'organisation reste pendant  $t_1$  dans la structure  $S_1$  et un temps  $t_2$  dans la structure  $S_2$ , le gain est de  $t_1\pi(S_1) + t_2\pi(S_2)$ . En pratique, elle peut être définie par une agrégation d'indicateurs du domaine, sur la base de statistiques ou par des mesures ad hoc. Aucune autre hypothèse n'est imposée sur cette fonction, si ce n'est que le gain de la séquence de transformations qui amène l'organisation à la structure  $S_{fin}$  visée par le concepteur doit être supérieur ou égal à celui des autres séquences de transformation.

## Choix des chemins de transformation

Sous l'hypothèse que les fonctions de gains et de durée des transformations sont ne varient pas au cours du temps, et que l'organisation ne subit pas de perturbations exogènes, on peut comparer, pour deux structures  $S_1$  et  $S_2$  les gains de chaque chemin de transformation qui les relient dans le multigraphe de transformation. Parmi ces chemins, il en existe qui sont de gain plus élevé que tous les autres, on les appellera *chemins de transformation optimaux*.

Le gain d'un chemin de transformation se décompose en deux parties. Le gain «direct», c'est-à-dire la somme des gains des transformations du chemin, et les gains «indirects», du fait du temps passé dans les structures intermédiaires du chemin de transformation et à implémenter les transformations. Cela a deux conséquences. D'une part, le chemin de transformation optimal d'une structure  $S_{ini}$  à  $S_{fin}$  n'est pas forcément constitué de transformations les plus économiques. Si les temps d'implémentation sont trop élevés, ils peuvent atténuer voire anéantir l'effet mélioratif des transformation effectuées. D'autre part, l'*ordre* dans lequel sont effectuées les transformations est particulièrement significatif dans le gain global du chemin de transformation. Pour s'en convaincre, imaginons que l'organisation décide de substituer un de ses membres  $a$  par un nouveau venu  $b$ . Si le poste qu'occupe  $a$  est critique pour la performance de l'organisation, il peut être plus intéressant d'ajouter  $b$  à la structure avant d'en retirer  $a$ , en fonction des coûts associés au recrutement et au licenciement, et du temps d'implémentation du recrutement de  $b$ , correspondant au temps qu'il mettra à s'adapter ou à se former pour occuper son poste.

L'application de l'algorithme de rechercher de plus court chemin de Dijkstra [Dijkstra, 1959] dans le multigraphe de transformations, paramétré avec  $\pi$  pour évaluer le coût d'une arête, permet de calculer le chemin de transformation optimal d'une structure  $S_{ini}$  à une structure  $S_{fin}$ .

## Prise en compte du risque

Le risque est un paramètre classiquement pris en compte en théorie de la décision. De manière à le prendre en compte dans le modèle, les fonctions de gain  $\pi()$  et de temps d'implémentation des transformations  $\Delta()$  peuvent être probabilisées. Ce sont alors des variables aléatoires, et le critère à optimiser devient l'*espérance* du gain du chemin de transformation à emprunter.

## Prise en compte des perturbations exogènes et coût de l'homéostasie

Pour formaliser l'effet de perturbations structurelles exogènes sur la structure des organisations, [Butts and Carley, 2007] introduit un second concepteur d'organisation : la Chance. Le processus de transformation structurelle devient un jeu à deux joueurs : le concepteur de l'organisation et la Chance. La Chance dispose d'un ensemble de transformations  $T_C$ , qui peut différer de celui du concepteur, parmi lesquelles il tire aléatoirement celles qu'il va exécuter. Les deux joueurs jouent chacun à leur tour, sans recouvrement temporel : les transformations sont appliquées et implémentées l'une après l'autre. Les gains associés aux transformations ne sont pas distingués selon leur provenance : celles du concepteur  $T$  et celles de la Chance  $T_C$  comptent pareillement.

Considérer les transformations effectuées par la Chance permet d'évaluer le coût de l'*homéostasie* de l'organisation.

L'homéostasie est la capacité d'un système à maintenir son état en équilibre, en dépit des perturbations extérieures et en mobilisant des processus de régulation. Ici, il s'agit d'évaluer si une organisation peut maintenir sa structure en présence de perturbations externes qui affectent sa structure.

On peut d'une part étudier si l'homéostasie est possible, en fonction de la fréquence des perturbations perpétrées par la Chance, et d'autre part évaluer le coût de maintien de l'équilibre. Partant d'une structure «en équilibre»  $S^*$  qui subit des transformations tirées aléatoirement dans  $\mathbb{T}_C$ , l'objectif du concepteur est de replacer l'organisation dans une structure en équilibre en appliquant les transformations à sa disposition.

Les occurrences des perturbations suivent une loi de Poisson de paramètre  $\lambda$ , et il est possible de comparer le temps d'implémentation minimum des transformations du concepteur  $\Delta_{min}$  et la fréquence des perturbations  $\frac{1}{\lambda}$ . Pour qu'une organisation puisse espérer se maintenir, il faut que la fréquence des perturbations soit significativement plus faible que l'inverse de  $\Delta_{min}$ , afin que le concepteur ait le temps de restaurer la structure dans son état d'équilibre  $S^*$ . Les auteurs déterminent également la fréquence maximale de perturbations qu'une structure peut endurer, c'est-à-dire celle pour laquelle l'espérance du temps passé dans la structure d'équilibre  $S^*$  est égale à l'espérance du temps passé à la restaurer. Lorsque le concepteur peut assurer l'homéostasie de la structure, il est possible d'approximer l'espérance du coût de ce maintien.

Ces résultats sont enfin étendus au cas de concepteur multiples, en considérant cette fois des chemins de changements optimaux au sens de Pareto.

Les limites de cette approche se trouvent selon nous dans la définition des fonctions de gain et de temps, et dans l'impossibilité de considérer les interférences qui peuvent se produire entre les transformations. Trouver des fonctions de gain qui soient réalistes est loin d'être trivial, notamment pour les transformations dues à la Chance, dont les coûts ne peuvent être que des estimations plus ou moins biaisées des conséquences d'une perturbation imprévisible et de ses éventuels effets de bord.

## Évaluation de la performance de la structure d'une organisation : le cas particulier de la gestion de crise

Le modèle OperA que nous avons introduit dans la première section de ce chapitre a été appliqué à des organisation réelles de gestion de crise [Dignum, 2004]. Ce domaine spécifique requiert une grande souplesse de fonctionnement et la capacité à s'adapter rapidement. Afin d'évaluer la performance de la structure de telles organisations, [Penserini et al., 2009a] propose de rendre compte, à partir d'un modèle OperA d'une organisation, de son degré de *robustesse*, de *flexibilité* et d'*efficience*. Le modèle OperA est un modèle général qui a été appliqué au domaine de gestion de la crise, selon des scénarios de crise de gravité variable, inspirés par les procédures officielles du gouvernement hollandais. Les indicateurs que propose [Penserini et al., 2009a] ont l'avantage de prendre en compte trois dimensions distinctes de la structure d'une organisation de gestion de crise, et d'évaluer leur degré de robustesse, de flexibilité et d'efficience.

La structure sociale du modèle organisationnel OperA d'une organisation est un graphe orienté dont les nœuds sont des rôles et les liens sont des relations de trois types : coordination, pouvoir et contrôle, qui définissent trois dimensions dans la structure de l'organisation. La dimension structurelle du pouvoir représente la façon dont les tâches sont déléguées entre les membres de l'organisation. La dimension structurelle de coordination représente l'ensemble des relations par lesquelles l'information transite entre les membres. La dimension structurelle de contrôle représente la structure selon laquelle certains membres contrôlent l'avancée ou l'achèvement des tâches réalisées par d'autres.

Des contraintes existent entre ces trois structures :

- l'existence d'une relation de pouvoir d'un rôle  $r$  vers un rôle  $s$  implique qu'il existe un chemin de coordination entre eux. Cette contrainte représente le fait qu'un membre qui endosse le rôle  $r$  doit pouvoir communiquer les informations pertinentes à celui qui endosse le rôle  $s$ .
- L'existence d'une relation de pouvoir d'un rôle  $r$  vers un rôle  $s$  implique qu'il existe un rôle  $t$  (qui peut être  $r$  lui même) pour lequel il existe une relation de contrôle entre  $t$  et  $s$  : lorsqu'une

tâche est déléguée par un agent à un autre, il doit exister un moyen d'en contrôler l'avancement.

Afin d'évaluer la robustesse, la flexibilité et l'efficacité de la structure des rôles, les indicateurs suivants sont proposés :

- *Complétude* : le degré de complétude du graphe est la proportion de liens existants par rapport aux liens possibles dans le graphe.
- *connexité* : le degré de connexité du graphe est d'autant plus faible qu'il existe des paires de rôles sans chemin pour les relier.
- *économie* : le compromis entre la complétude et la connexité du graphe de rôles.
- *unilateralité* : la proportion de liens entre rôles qui sont symétriques. Une structure très unilatérale est très «hiérarchisée» alors que dans une structure peu unilatérale, les rôles entretiennent beaucoup de relations «pair à pair».
- *univocité* : le nombre de conflits ou de redondances d'un rôle dans le réseau, en terme de liens entrants.
- *Similarité des liens entrants et sortants* : il s'agit des mesures d'équivalence structurelle de l'analyse des réseaux sociaux, qui rend compte de la similarité des liens entrants et sortants de deux nœuds, dans les différentes dimensions (pouvoir, coordination, et contrôle) de la structure.
- *Recouvrement* : le recouvrement de deux dimensions structurelles d'une organisation.

Le triplet (*complétude, connexité, économie*) permet d'évaluer si les relations entre rôles sont en nombre adéquat. Le degré de connexité permet d'identifier les goulets d'étranglement, à savoir les nœuds qui, s'ils étaient retirés, réduiraient significativement la valeur de l'indicateur. Le degré de complétude permet d'évaluer la robustesse de la structure, par le nombre de liens ou de chemins répliqués entre les rôles. L'indicateur d'économie est tel que la structure la plus économe est celle qui est intégralement connectée tout en minimisant le nombre de liens.

Le couple (*unilateralité, univocité*) rend compte du *degré de subordination* de l'organisation, et du nombre de conflits ou de redondances que les rôles peuvent subir du fait de leurs arcs entrants. Enfin, les similarités des liens entrants et sortants et le recouvrement rendent compte des corrélations entre les trois dimensions de la structure de l'organisation.

La robustesse, la flexibilité et l'efficacité de la structure d'une organisation se mesurent en fonction des valeurs de certains des indicateurs que nous avons décrits. Ainsi, la robustesse de l'organisation nécessite une certaine redondance entre les dimensions du pouvoir et de la coordination de l'organisation. Cela se traduit par une faible valeur de l'indicateur d'univocité dans la dimension du pouvoir (peu de conflits dans l'assignation de tâches), et une faible valeur de l'indicateur d'unilateralité dans la dimension de la coordination (les rôles sont symétriquement connectés avec beaucoup d'autres, ce qui leur permet de négocier la répartition des tâches avec beaucoup d'autres membres de même niveau et de disposer de nombreuses alternatives). Il s'ensuit également que, dans une organisation robuste, le recouvrement des dimensions de pouvoir et de coordination est important puisque la robustesse implique qu'il existe beaucoup d'alternatives pour la délégation des tâches. Cette robustesse implique qu'il existe beaucoup de relations de pouvoir pair-à-pairs, et du fait de la contrainte de l'existence de relations de coordination en cas de relations de pouvoir, les deux dimensions structurelles se recouvrent d'autant.

La flexibilité de l'organisation représente sa capacité à s'adapter rapidement à des objectifs changeants. Cela requiert une faible connexité et complétude dans la dimension de pouvoir, de façon à ce que la délégation des tâches à accomplir suive des chemins prédéfinis et soit rapidement effectuée. L'idée sous-jacente est que la structure optimale de la dimension de pouvoir pour la délégation est un arbre, et la moins performante un graphe complet.

Pour être efficace, c'est-à-dire performante sans être trop coûteuse en termes de ressources, la structure d'une organisation doit avoir une valeur élevée de l'indicateur d'économie dans les dimensions de contrôle, de pouvoir et de coordination, un fort recouvrement entre les dimensions de pouvoir, de contrôle et de coordination, ainsi qu'un fort degré de subordination.

Il est impossible de maximiser ces trois propriétés ensemble, car certaines sont en opposition. Par exemple une organisation dont on cherche à maximiser la robustesse, du fait des redondances qu'elle

requiert et de la faible valeur de l'indicateur d'univocité dans la dimension de pouvoir (donc une structure assez peu subordonnée), ne pourra pas être efficace puisqu'il faudrait pour cela que la structure présente une forte subordination.

Les trois propriétés recherchées n'étant pas simultanément maximisables, une procédure de sélection des structures optimales au sens de Pareto est aussi proposée. La limite de ce travail se situe selon nous dans le fait que seule l'architecture des rôles est évaluée, le comportement effectif des individus qui jouent ces rôles n'est pas pris en compte.

### 2.2.2 L'apprentissage organisationnel

L'apprentissage organisationnel est une branche de la théorie des organisations qui s'intéresse à la façon dont une organisation apprend de ses expériences et s'adapte aux perturbations de son environnement. Le premier modèle qui s'intéresse à cette question est celui d'Argyris et Schön [Argyris and Schon, 1996] qui distingue plusieurs niveaux : l'apprentissage en simple, double et triple boucle (voir figure 2.8).

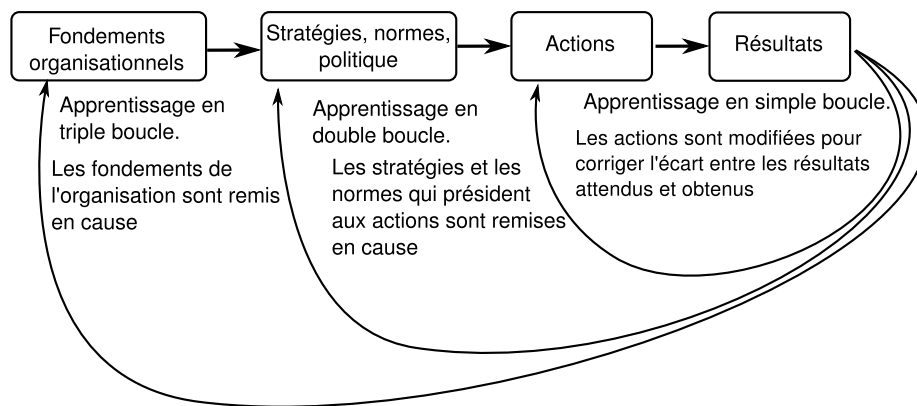


FIGURE 2.8 – Les trois niveaux d'apprentissage du modèle de [Argyris and Schon, 1996]

L'apprentissage en simple boucle consiste à corriger les pratiques de l'organisation provoquant les écarts observés, en fonctions des références fixées par la politique de l'organisation. L'apprentissage en double boucle questionne la pertinence de la politique choisie par l'organisation et des normes sous-jacentes, de façon à ce qu'elles ne soient plus appliquées dans un autre contexte, s'il s'avère qu'elles ne sont pas efficaces. L'apprentissage en double boucle est une sorte de méta-apprentissage, qui apprend sur l'apprentissage en simple boucle. L'apprentissage en triple boucle va plus loin encore, en questionnant la raison d'être de l'organisation. Il peut amener à de profondes modifications de l'organisation, dans sa culture, sa structure et ses pratiques.

L'apprentissage organisationnel est un sujet complexe, qui fait intervenir à la fois le niveau individuel, pour les questions qui portent sur la façon dont un membre d'une organisation apprend et s'adapte, le niveau structurel, pour les questions qui portent sur l'effet que peut avoir la stratégie et la structure d'une organisation sur son adaptation, et enfin l'influence réciproque de ces niveaux.

### Évaluation de la performance d'une organisation par la simulation multi-agents de l'apprentissage

Dans [Carley, 1998], l'apprentissage d'une organisation est simulée par un système multi-agent. Les expériences confrontent un apprentissage par essais-erreurs individuel (en simple boucle) et un apprentissage dit *structurel* qui se situe entre l'apprentissage en double boucle et celui en triple boucle. Deux niveaux de comportements sont distingués : l'apprentissage individuel est effectué par une population d'agents ayant une rationalité limitée, insérés dans un réseau. Les agents apprennent de deux façons : soit par expérience, soit par communication, en sollicitant les agents de leur réseau.

La tâche qu'ils doivent effectuer consiste à classer des segments d'une chaîne de bits, et à déterminer si le segment est constitué d'une majorité de 1 ou de 0. Chaque agent se voit attribuer un segment de

la chaîne, dont certaines zones lui sont cachées. Face à une zone cachée qu'ils ne peuvent pas classer par eux-mêmes, ils peuvent rassembler les opinions de leurs voisins dans le réseau (et communiquer la leur).

L'apprentissage structurel est entrepris par un agent (que l'on peut voir comme le directeur ou le gestionnaire de l'organisation), dont le but est d'explorer l'espace des structures d'organisations possibles en jouant sur des paramètres tels que la taille de l'organisation, la densité du réseau d'agents ou la répartition de la charge de travail, dans le but de trouver la structure la plus performante. L'exploration de cet espace a un impact significatif sur la performance de l'organisation, puisque de nouveaux agents peuvent être introduits, des parties du réseau peuvent être supprimées, et de nouveaux objectifs peuvent apparaître. L'apprentissage de cet agent particulier est simulé par la technique du recuit simulé.

Les simulations sont effectuées avec la plate-forme ORGAHEAD, conçue pour ce genre d'expérience [Jiang et al., 2009]. Plusieurs tendances émergent de l'analyse statistique des résultats de simulation, que l'auteur nomme *méta-stratégies de changement* et qui relève de l'apprentissage organisationnel en double ou triple boucle.

- L'organisation apprend à devenir flexible par la ré-affectation des tâches aux agents.
- L'organisation a tendance à accroître sa taille.
- La densité des réseaux d'agents nuit en général à la performance de l'organisation.
- Dans le cas particulier où les tâches affectées aux agents changent très souvent, la densité du réseau est un critère de performance.

Les simulations menées dans [Carley, 1998] permettent de mettre en évidence une caractéristique bien connue des organisations réelles : la structure de l'organisation contraint le comportement de ses membres et impacte directement sa performance. Ici, les agents exhibent la rationalité de l'organisation (ou de l'agent concepteur) en s'adaptant plus ou moins bien à la stratégie de changement structurel mise en œuvre. Dans certaines conditions, ce modèle permet de rendre compte d'une certaine routinisation, voire d'une institutionnalisation des pratiques, avec l'apparition de méta-stratégies de changement efficaces. Il nous semble assez remarquable que ce phénomène dépende directement de l'historique de l'organisation et de l'expérience accumulée par elle, ce qui pourrait être rapproché d'une sorte de «culture d'entreprise» apprise par interactions.

Le réseau dans lequel sont insérés les agents occupe une place centrale dans le modèle. C'est l'environnement d'apprentissage des agents et ce que l'agent-concepteur va transformer. Carley y reviendra souvent : le réseau est le support de l'activité de l'organisation, il représente bien plus que la juxtaposition des liens entre les individus. C'est la ressource qui, au final, est véritablement exploitée par l'organisation. L'auteur revient un peu plus précisément sur la place du réseau de connaissance des agents dans [Carley and Hill, 2001], où elle se propose d'étudier l'impact du réseau de connaissances des agents et de leurs stratégies sur la stabilité, la flexibilité, l'atteinte d'un consensus, et d'autres critères qui déterminent la performance d'organisations. Dans cet article, ce n'est plus l'agent-concepteur qui va modifier le réseau des agents, mais les agents eux-mêmes.

Il s'agit toujours de confronter l'apprentissage individuel et l'apprentissage organisationnel. L'approche de [Carley and Hill, 2001] distingue cette fois plus précisément le type et l'origine des connaissances qu'un agent peut mobiliser : le «quoi» et le «qui». Le «qui» se réfère aux agents en relation avec un agent (son propre réseau). Le «quoi» se réfère aux connaissances dont l'agent dispose (ce qu'il sait faire).

Le réseau social est un réseau d'agents, où un lien représente le fait que deux agents se connaissent. Le réseau de connaissances est constitué de deux types de nœuds : des agents et des items de connaissance. Un lien entre un agent est un item indique qu'un agent a intégré cet item. Cette distinction permet de considérer l'organisation comme un réseau complexe, à la fois un réseau social et un réseau de connaissances.

La connaissance dont dispose un agent est mise à jour en fonction de ses interactions avec les autres.

L'apprentissage mis en œuvre par un agent prend alors deux formes selon le réseau dans lequel il

a lieu : un apprentissage individuel ou un apprentissage structurel. Il permet à un agent d'apprendre les connaissances dont disposent les autres agents de son réseau (apprentissage individuel) et, dans un second temps, d'intégrer dans son réseau social les agents de qui il a reçu ces items de connaissance (apprentissage structurel). C'est donc l'apprentissage des agents qui structure l'organisation. Des expériences de simulations sont menées pour mesurer l'effet de la modifications de la structure de l'organisation par l'apprentissage structurel des agents.

Les auteurs s'intéressent à l'influence du type d'apprentissage (structurel ou individuel) pratiqué par les agents et de la taille de l'organisation sur trois phénomènes : la diffusion, le consensus, et la performance. La diffusion est évaluée par le nombre d'agents qui ont appris un nouvel item de connaissance à un moment donné. Le consensus est la taille du groupe majoritaire lorsqu'une décision collective est prise à un instant donné. La décision collective dont il est question concerne la tâche de classification que les agents doivent effectuer, à savoir déterminer si un chaîne de bits est constituée de plus de 0 que de 1 ou l'inverse. Les agents n'ont qu'une vue partielle de cette chaîne de bits, et seule une décision collective peut déterminer si la chaîne complète est constituée de plus de 0 que de 1. La performance évalue la qualité de la classification collective des agents à un instant donné. Il faut préciser que le nombre de liens qu'un agent peut établir avec d'autres au cours de son apprentissage n'est pas borné, et inévitablement, le réseau de chaque agents finira par être complet, puisque les agents ont intérêt à augmenter leur nombre de liens dans le réseau. Cela implique qu'au bout d'un temps suffisamment long, les agents savent tout, l'organisation est la plus performante possible. Ce n'est pas la structure finale, transformée par l'apprentissage structurel des agents, qui intéresse les auteurs, mais plutôt la vitesse de stabilisation des phénomènes de diffusion, consensus et performance. Cette stabilisation est considérée comme obtenue lorsque le critère étudié (performance, consensus ou diffusion) atteint 90% de sa valeur théorique maximale.

Les résultats des simulations montrent que la taille de l'organisation ralentit la diffusion, l'établissement du consensus et l'atteinte d'une bonne performance. D'autre part, selon que les agents s'efforcent de rechercher l'information qui leur manque (comportement actif) ou au contraire répondent aux sollicitations des autres sans chercher à modifier leur réseau (comportement passif), ces phénomènes s'établissent plus ou moins rapidement. Plus les agents sont actifs, plus l'organisation mettra longtemps à atteindre la stabilité en consensus et en performance. La diffusion d'un nouvel item de connaissance, au contraire, s'établit d'autant plus rapidement que les agents adoptent un comportement actif. Cependant, dans le cas particulier où les agents adoptent un comportement exclusivement actif, sans jamais être passif la diffusion prend beaucoup plus de temps à s'établir. Cela s'explique par le fait que les quelques agents qui disposent de l'item sont trop «occupés» à interagir avec certains autres pour interagir avec tous. Cela crée un goulet d'étranglement dans le flux d'information. Enfin, il semble que, de manière générale, la diffusion soit le premier phénomène à se stabiliser au cours des simulations, suivie de l'atteinte de la performance et enfin du consensus.

## **2.3 Questionnements sur les organisations sociales**

Dans cette section, nous nous proposons d'évoquer certains travaux qui ont un rapport direct avec les organisations sociales et les notions que leur étude fait intervenir. Ces travaux ne s'intéressent pas directement aux organisation, ni à la sociologie de l'action organisée, mais traitent d'aspects des systèmes sociaux qui se retrouvent dans les organisations sociales et qui font leur complexité.

### **2.3.1 La dynamique d'une organisation**

Comme tout organisme vivant, les systèmes sociaux évoluent.

#### **Etude du «cycle de vie» des organisations et de leurs constituants**

Lorsqu'on considère des organisations insérées dans un environnement, on peut s'interroger sur la façon dont elles se constituent puis se maintiennent dans cet environnement.

## L'émergence des institutions

Une organisation sociale partage certaines caractéristiques avec les institutions. Parce qu'une organisation définit les rôles de ses membres, on peut distinguer dans le comportement d'un acteur une dimension qui lui est propre, en tant qu'individu, et une dimension qui relève de son rôle dans l'organisation ou de son statut institutionnel.

Walliser s'interroge sur les facteurs qui interviennent dans la genèse des institutions [Walliser, 2003]. Il envisage les institutions comme une situation d'*équilibre* entre des acteurs et un environnement. Il se propose d'appliquer aux institutions deux modèles traditionnellement utilisés en économie pour expliquer la présence d'équilibres.

L'approche dite *éductive* suppose que les institutions sont le produit d'une création consciente d'un ensemble d'agents. Ces agents, que l'auteur qualifie lui-même d'«héroïques», raisonnent en information parfaite et ont une rationalité forte qui leur permet de simuler parfaitement le comportement des autres, et d'arriver à se placer dans des états d'équilibres par leur seul raisonnement. Si de nombreuses théories économiques ont démontré que l'atteinte d'équilibres était possible théoriquement sous ces hypothèses, rien n'est dit en revanche sur le processus de sélection d'un équilibre parmi les équilibres possibles que peuvent créer de tels agents. La confiance des acteurs économique dans la monnaie et le respect des feux de croisement des automobilistes sont deux exemples d'institutions qui peuvent s'expliquer par cette approche.

La seconde approche est qualifiée d'*évolutionniste*. Elle est beaucoup moins exigeante du point de vue des facultés des agents : ceux-ci disposent d'une rationalité limitée à la Simon, et sont plongés dans un environnement dans lequel ils interagissent. Sous les hypothèses qu'ils peuvent percevoir cet environnement et sélectionner leur comportement sur la base de cette perception en fonction d'une certaine utilité, on peut envisager différents processus d'apprentissage. Ces processus font émerger de la population d'agents certaines régularités, des états stables ou asymptotiques que l'on peut apparenter à des équilibres. L'émergence de la monnaie, le choix d'un sens de conduite sur la route sont des exemples d'institutions dont il a été montré qu'elles pouvaient émerger de tels processus.

Aucune de ces approches ne suffit à expliquer complètement l'émergence d'institutions : il y a toujours un besoin de légitimer l'institution qui émerge pour qu'elle perdure. Une institution doit par exemple s'appuyer sur des systèmes juridiques pour fonder son utilité sociale. Selon Walliser [Walliser, 2003],

«Pour combler l'incomplétude de formalisation du processus d'institutionnalisation, il est nécessaire de coupler les approches éductive et évolutionniste, l'institution émergeant par un mécanisme inconscient avant d'être reconnue par les acteurs par une opération consciente.»

## L'émergence de normes

Une autre caractéristique des organisations et de toute action collective est l'apparition et l'adoption, au cours de son activité, de normes sociales.

Le concept de norme comme « façons de faire, d'être ou de penser socialement définies et sanctionnées » est central en sociologie. On l'a vu dans les sections précédentes, la formalisation de la notion de norme est aussi abondamment utilisée dans les modèles de SMA. Il se trouve que ces normes sont la plupart du temps définies par le concepteur du SMA, c'est à dire *formelle*, alors que la sociologie considère également des normes informelles, qui sont des construits, issus du comportement des individus, perpétuellement actualisés par eux tout en les contraignant. La question se pose alors de proposer des modèles pour formaliser et simuler la façon dont ces normes informelles s'établissent dans une société.

C'est ce que propose de faire [Smajgl et al., 2008], dans un contexte institutionnel. Dans ce modèle, les individus d'une population doivent mobiliser des ressources pour atteindre leurs objectifs. L'accès aux ressources est contrainte par un certain nombre de règles. Ces règles sont décrites en utilisant la formalisation ADICO. Cette formalisation permet de décrire une règle comme le montre le tableau 2.1 :

Les règles à l'œuvre dans le système portent sur l'intensité de l'exploitation des ressources (l'article présente l'exemple de règles qui fixent les quota de poissons que peuvent pêcher une population de

Attribute A	Deontic D	Aim I	Conditions C	Or else O
Un usager	ne doit pas	prendre le métro	sans ticket	sinon il devra payer une amende

TABLE 2.1 – Exemple de séquence ADICO pour exprimer une règle

marins pêcheurs).

Un agent qui accède à des ressources en reçoit un certain bénéfice (« payoff »). Il maintient également une base de croyances, constituées de relations entre des actions effectuées ou observées (les actions des agents sont publiques, un agent peut observer les actions des autres) et le payoff qui en résulte. En cas d'amélioration, cette règle est soumise à délibération, et elle peut être adoptée suivant un vote, pour ensuite s'appliquer à tous les agents. Ce modèle montre comment des normes portant sur l'interprétation des règles peuvent émerger de l'interaction entre les agents, mais il ne n'examine pas la sanction des comportements d'agents qui ne respectent pas la norme.

### La sanction des normes

Cet aspect est couvert par [Kitts, 2008], qui propose un modèle où coexistent deux types de normes : des normes formelles, qui encouragent la coopération entre les agents et pénalisent les contrevenants qui ne respectent pas la norme formelle, et des normes informelles issues des interactions sociales. Il apparaît que les normes favorisent les actions *pro-sociales*, coûteuses pour l'agent mais bénéfiques pour la communauté. Cela revient à considérer que les agents s'encouragent les uns les autres à réaliser des actions bénéfiques pour le collectif. Dans ce modèle, les agents prennent deux décisions : il peuvent décider de travailler ou de laisser faire (choix de premier ordre, auquel est associé une récompense), puis ils peuvent décider d'encourager la réalisation d'une action ou de s'opposer à la réalisation de cette action (choix de deuxième ordre, auquel est associé une valeur d'encouragement).

Les expérimentations montrent plusieurs phénomènes intéressants. Tout d'abord, paradoxalement, l'encouragement sélectif (i.e. qui porte sur une action en particulier) peut s'opposer à la bonne marche de la coopération. Cela s'explique par le fait qu'un encouragement trop intense introduit de la rivalité entre les agents. D'autre part, comme il est laissé la possibilité aux agents de refuser une action ou de s'opposer à sa réalisation, le modèle permet de voir apparaître l'émergence de normes antisociales de premier et second ordre, en fonction du paramétrage de la récompense et des encouragements. La formalisation mathématique de ce modèle a l'avantage de déterminer de façon analytique les zones de stabilité et les points de basculement entre les normes pro-sociales et anti-sociales dans l'espace des paramètres.

### 2.3.2 L'articulation entre les individus et le collectif

Distinguer les organisations sociales des membres qui les constituent amène inévitablement à considérer l'articulation du niveau individuel, microscopique et du niveau collectif, macroscopique.

Selon Gilbert, et du point de vue de la sociologie, la simulation sociale se positionne entre l'individualisme (Watkins) et le holisme (Durkheim puis O'Neil) [Gilbert, 1996]. Ce qui permet selon lui de faire le lien entre ces deux niveaux est la théorie de la structuration de Giddens [Giddens and Audet, 1987] qui considère l'agent et la structure avec une importance égale et procure ainsi un fondement théorique à la simulation de systèmes complexes adaptatifs. Beaucoup de phénomènes ou de caractéristiques des systèmes sociaux sont situés entre les niveaux individuel et collectif, sans que l'on puisse déterminer s'ils sont attribuables aux acteurs ou à la structure : les normes, la culture et le pouvoir nous semblent en être des exemples représentatifs s'agissant d'organisations sociales. Le lien «micro-macro» est le sujet de nombreux articles théoriques qui traitent des modèles et des techniques de simulation sociale, parmi lesquels on citera [Squazzonni, 2008] et [Schillo et al., 2001].

Gilbert pointe aussi une capacité fondamentale qui fait défaut aux agents des modèles de simulation : celle qui permet à l'homme de détecter, surveiller et raisonner sur les construits sociaux. Les limites des agents des modèles de simulations sociales se situeraient donc au niveau cognitif.



[Hales, 1998] a proposé un modèle de simulation de la représentation mentale que les agents peuvent se construire de la culture de leur société. Les éléments culturels sont représentés par un système d'étiquettes que les agents s'échangent. L'évolution de ces éléments culturels est simulée par un système à base de croisements, issu de la théorie de la mémétique selon laquelle un élément de culture cherche à «contaminer» un maximum d'individus et «mute» pour y parvenir. Ce choix de modélisation, parce qu'il revient à agentifier les items culturels, et parce que la théorie dont il est issu est maintenant désuète ([Edmonds, 2005]) ne nous semble pas vraiment convaincant, même si la simulation de la diffusion d'éléments culturels dans une population d'agents reste séduisante.

Lorsque l'on cherche à produire un modèle de simulation sociale qui fait intervenir des agents en relations, ce n'est pas seulement la structure de ces relations, leurs sémantiques, et leurs propriétés (par exemple l'orientation des relations, la transitivité, la symétrie) qui mérite d'être formalisée, mais également la façon dont les acteurs se saisissent de cette structure, dans ses aspects cognitifs. Les préférences de l'agent, ses croyances, ses représentations influencent le comportement des acteurs sociaux. La *confiance* est l'un de ces aspects qui jouent un rôle important dans les relations entre individus.

### La confiance dans les relations entre acteurs sociaux

La confiance, au même titre que le pouvoir, est un élément structurant des relations entre les acteurs d'un système. [Castelfranchi, 2011] a cherché à caractériser formellement les relations de confiance et leur dynamique.

La confiance est un type de relation orientée entre agents. Cette relation est caractérisée par une certaine force, pour représenter les différents degrés de confiance qui peuvent exister entre deux individus, de la confiance «toute relative» à la confiance «aveugle». La confiance influence le choix des partenaires d'interaction d'un agent : il choisira la plupart du temps d'interagir avec un agent en qui il a confiance. Cette règle n'est pas absolue : parfois le choix d'un partenaire d'interaction «risqué» peut s'avérer plus bénéfique que l'interaction avec un partenaire de confiance. La confiance est aussi potentiellement déséquilibrée : la confiance accordée par un agent  $a$  à un autre agent  $b$  n'est pas forcément aussi forte que la confiance que  $b$  accorde à  $a$ .

Selon [Castelfranchi, 2011], la confiance est fondée sur un des buts de l'agent qui l'accorde, elle correspond à une *attente* : l'autre facilitera la réalisation de ce but. La nature exacte de ce but importe peu, mais il s'agit toujours d'obtenir quelque chose dans le cadre d'une transaction. Le fait qu'elles soient fondées sur des buts conduit immédiatement à considérer la dynamique des relations de confiance qu'entretient un agent : elles vont évoluer en fonction de sa réussite à atteindre ses objectifs. Une relation de confiance est formalisée par un quadruplet  $(x, y, g, c)$  : un agent  $x$  fait confiance à un agent  $y$  pour un but  $g$  dans un certain contexte  $c$ .

La relation de confiance n'est pas transitive dans le cas général. Un agent  $a$  qui fait confiance à un agent  $b$  n'a aucune raison d'accorder sa confiance à  $c$ , même si  $b$  accorde sa confiance à  $c$ , il lui faut une meilleure raison pour cela. Si la relation de confiance qui existe entre  $b$  et  $c$  est fondée sur un but qui a un rapport avec les buts de  $a$ , et seulement dans ce cas, la relation de confiance peut être transitive. Il faut soit que les deux relations de confiance soit fondée sur le même but, soit que les deux buts distincts associés aux relations de confiance découlent l'un de l'autre. Donnons un exemple : si  $a$  fait confiance à  $b$  pour choisir un vin au restaurant et que  $b$  fait confiance au sommelier  $c$  pour le choix d'un grand cru, par transitivité et parce qu' $a$  et  $b$  partagent le but de boire un vin approprié,  $a$  va accorder sa confiance à  $c$ .

Selon Castelfranchi, la confiance est à la fois une décision, une attitude et un acte. Initier une relation de confiance, c'est accepter de se placer en situation de dépendance vis-à-vis d'un autre. En retour, l'individu est affecté par la confiance placée en lui : cela peut l'inciter à se montrer «digne de confiance». La confiance a plusieurs origines : elle s'établit sur la base de l'expérience, ou de preuves qui attestent qu'un individu est digne de confiance, comme l'appartenance à certains groupes sociaux ou un statut institutionnel par exemples.

Ainsi définie, la confiance est une notion complexe, dont nous remarquons qu'elle partage beaucoup de caractéristiques avec le pouvoir. Ces deux attributs sont fondés par le paradigme selon lequel

un acteur a des buts, qu'il poursuit. Ils constituent un avantage pour l'acteur qui en dispose, dans ses interactions avec les autres. Leur utilisation stratégique permet d'obtenir des autres qu'ils se comportent d'une certaine façon. Ils peuvent s'accumuler dans les mains d'un acteur, et circuler, se diffuser dans le réseau des relations entre acteurs : ni le pouvoir ni la confiance ne sont simplement dyadiques [Mailliard, 2010]. Il existe une certaine transitivité du pouvoir et de la confiance, mais elle n'est pas triviale ni systématique. La confiance reçue et le pouvoir peuvent s'accumuler, comme un capital, dont la valeur dépend à la fois du contexte et de l'usage que son détenteur en fait. Enfin, ce sont des relations qui possèdent une dynamique ; selon l'atteinte des objectifs, elles sont actualisées par le comportement des acteurs. En fait, inspirer confiance est l'un des moyens d'acquérir du pouvoir.

### La confiance et le pouvoir

En considérant la juxtaposition du réseau des relations de dépendances ou de pouvoir (cf section 2.1.4) et le réseau des relations de confiance, on obtient un réseau complexe, que l'on peut qualifier de «réseau de négociations» qui permet de prendre en compte les effets de ces deux dimensions pour prédire ou expliquer les interactions d'agents.

Par exemple, les buts d'un agents peuvent le placer en situation de dépendance vis-à-vis d'autres. Le pouvoir dont il peut disposer sur certains de ces agents lui permet d'opérer une première sélection sur les agents avec qui il pourrait interagir (proposer une coopération ou échanger des buts). Parmi ces candidats, le réseau des relations de confiance opère une seconde sélection, puisque l'agent aura tendance à choisir les agents en qui il a confiance. La formalisation du réseau de négociation permet de construire deux indicateurs pour caractériser les alternatives qui s'offrent à un individu pour la réalisation d'un but : le *potentiel de négociation subjectif* et le *potentiel de négociation objectif*. Le potentiel de négociation subjectif repose sur les croyances de l'individu à propos des capacités des autres à pouvoir l'aider à atteindre ses objectifs.

Les relations de dépendances et de pouvoir et les relations de confiance entre les individus sont deux contextes d'interactions différents, bien qu'ils se recouvrent et s'interpénètrent. [Antunes et al., 2009] et [Antunes et al., 2010] étudient, dans des simulations de l'établissement de consensus, l'effet de la prise en compte de plusieurs contextes d'interaction sur la façon dont un agent navigue entre ces contextes. Ils s'intéressent notamment à la relation entre la complexité des contextes d'interaction et la vitesse de convergence du phénomène de consensus. Ces travaux peuvent donner quelques intuitions sur « l'effet système » induit par la prise en compte de plusieurs contextes d'interaction.

### Le pouvoir dans les organisations

La notion de pouvoir est centrale dans la SAO et dans notre travail. Nous donnons ici quelques références sur le concept de pouvoir dans les organisations.

La notion de pouvoir est abordée dans les approches basées sur la théorie de la dépendance. Nous avons déjà mentionné sa nature «non-dyadique» et la façon dont il peut circuler et se multiplier entre des agents en situation d'interdépendance [Castelfranchi, 2003]. Cet aspect est également abordé dans [Mailliard, 2010], où la question de l'*usage* du pouvoir tel qu'il est considéré dans l'approche SocLab est positionné par rapport aux travaux de sociologie.

Les réseaux de relations entre individus jouent un rôle important dans nombre de phénomènes sociaux et constituent un domaine de recherche très actif en sociologie depuis les années 70 [Freeman, 1979a][Granovetter, 1973]. L'analyse des réseaux sociaux a montré qu'il existait un rapport entre la position d'un individu dans un réseau et le pouvoir dont il pouvait disposer. Lorsque le type de relation que décrit un réseau est judicieusement choisi (relation de conseil par exemple), les caractéristiques structurelles du réseau de relations s'interprètent en terme de pouvoir. Par exemple, [Lazega, 1998] analyse la structure des relations dans une organisation réelle, un cabinet d'avocats, et croise les résultats de l'analyse structurale du réseau de relations de conseil entre avocats avec les résultats de l'enquête sociologique effectuée dans ce cabinet. Les caractéristiques les plus couramment évoquées sont les mesures de centralité d'un nœud dans le graphe des relations.

Nous reviendrons sur cet aspect dans le chapitre 7, lorsque nous évoquerons le pouvoir distant d'un acteur dans une organisation, dans la section 8 du chapitre sept.

## Chapitre 3

# Un méta-modèle des systèmes d'action concrets

### Table des matières

---

<b>3.1</b>	<b>Le socle du méta-modèle des organisations . . . . .</b>	<b>49</b>
3.1.1	Les ressources et leurs relations . . . . .	49
3.1.2	Les acteurs et leurs enjeux . . . . .	51
3.1.3	Capacité d'action et pouvoir d'un acteur . . . . .	53
3.1.4	Le jeu social . . . . .	53
<b>3.2</b>	<b>Extensions du méta-modèle des organisations . . . . .</b>	<b>54</b>
3.2.1	Contraintes sur l'état d'une relation . . . . .	54
3.2.2	Les contraintes entre relations . . . . .	55
3.2.3	Les solidarités . . . . .	56
3.2.4	Le contrôle partagé des relations . . . . .	56
3.2.5	Les interdépendances entre les impacts d'une relation sur un acteur . . . . .	57
<b>3.3</b>	<b>Représentation matricielle d'un modèle de SAC . . . . .</b>	<b>58</b>
<b>3.4</b>	<b>Les indicateurs . . . . .</b>	<b>58</b>
3.4.1	Capacité d'action et Pouvoir d'un acteur . . . . .	59
3.4.2	A propos de la terminologie et des notations . . . . .	60
3.4.3	Indicateurs relatifs aux relations . . . . .	60
3.4.4	Indicateurs relatifs aux acteurs . . . . .	62
3.4.5	L'équilibre des comportements au sein d'une dyade d'acteurs . . . . .	65
3.4.6	Indicateurs relatifs à l'organisation . . . . .	69
<b>3.5</b>	<b>Les configurations remarquables d'une organisation . . . . .</b>	<b>69</b>
<b>3.6</b>	<b>L'étude analytique d'un modèle d'organisation . . . . .</b>	<b>71</b>
3.6.1	Classement des acteurs selon les indicateurs structurels . . . . .	72
3.6.2	Détection de propriétés structurelles à l'aide d'indicateurs contextuels . . . . .	72
3.6.3	Exploration interactive de l'espace des configurations d'une organisation . . . . .	73

---

Dans ce chapitre, nous décrivons le méta-modèle que nous utilisons pour représenter la structure des organisations sociales. Ce méta-modèle repose sur la formalisation de la théorie de la sociologie de l'action organisée, entreprise en collaboration avec des sociologues [Roggero and Sibertin-Blanc, 2008][Sibertin-Blanc et al., 2009] et dont nous avons présenté les principales notions dans le chapitre 1, section 1. C'est bien d'organisation que nous parlerons, et non pas de SAC selon la terminologie de Friedberg. En effet, le concept de SAC renvoie à une organisation régulée, dans laquelle les comportements des acteurs sont déterminés, alors que, dans une approche systémique, il nous faut distinguer d'une part la structure d'une organisation et d'autre part son état.

### 3.1 Le socle du méta-modèle des organisations

S'agissant de modéliser des systèmes, il nous faut identifier quelles sont les entités actives, capables de réaliser des opérations et de modifier l'état du système, quelles sont ces opérations, et enfin quelles sont les entités, objets, ressources que ces opérations mettent en jeu.

L'ensemble de ces éléments définit la structure d'un système et chacun ne prend de sens que par rapport aux autres.

La figure 3.1 présente, sous la forme d'un diagramme de classes UML, le méta-modèle de la structure des organisations, dont les éléments constitutifs sont des *acteurs* et des *relations*, reliés par les associations *Contrôler* et *Dépendre*.

Les entités actives sont les acteurs, les objets qu'ils manipulent les relations, et les opérations qu'ils peuvent réaliser consistent à déplacer l'état des relations qu'ils contrôlent.

Dans toute la suite, nous ferons référence à l'état de l'organisation comme le vecteur de l'état de chacune des relations de l'organisation.

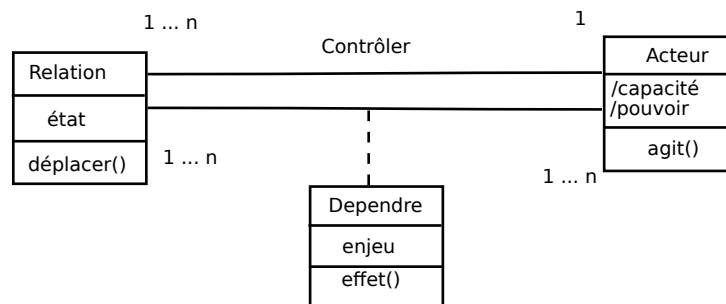


FIGURE 3.1 – Méta-modèle de la structure d'une organisations

Chaque relation est contrôlée par un seul acteur, le contrôleur, qui est le seul à pouvoir déplacer son état.

Chaque acteur est dépendant d'une ou plusieurs relations (parmi lesquelles peuvent figurer celles qu'il contrôle), sur lesquelles il place un certain *enjeu*.

Dans ce cas, il en obtient un certain *effet*, qui est déterminé par l'application de la fonction d'effet à l'état de la relation.

Finalement, il en résulte pour l'acteur une certaine *capacité d'action*, agrégation des effets (pondérés par leur enjeu) qu'il reçoit sur les relations dont il dépend, et un certain *pouvoir*, agrégation des capacités qu'il attribue aux acteurs dépendants des relations qu'il contrôle.

#### 3.1.1 Les ressources et leurs relations

Chaque relation repose sur une (ou plusieurs) ressource de l'organisation (cf figure 3.2).

Les ressources<sup>1</sup> d'une organisations sont, dans le sens le plus large du terme, les éléments nécessaires à l'action organisée dont la disponibilité est requise ou utile pour réaliser certaines actions.

1. Nous adoptons ici le terme «ressource» de préférence à l'expression «zone d'incertitude» de la terminologie de la SAO car il nous semble plus juste : toute zone d'incertitude au sens de la SAO est une ressource, alors que le trait constitutif d'une zone d'incertitude n'est pas seulement l'incertitude sur le comportement de celui qui la maîtrise mais aussi l'existence d'acteurs qui ont besoin de cette ressource, même s'ils ne maîtrisent pas les conditions de son utilisation.

La nature d'une ressource renvoie à l'un des quatre types de zones d'incertitudes identifiées par la sociologie de l'action organisée : une compétence difficilement remplaçable, la maîtrise de relations avec l'environnement du système, la maîtrise de l'information et de la communication interne et, enfin, l'utilisation stratégique des règles organisationnelles à l'occasion des marchandages auxquels elles donnent lieu.

Une ressource donne lieu à une (ou plusieurs) relation entre acteurs dans la mesure où elle est instrumentalisée par l'acteur qui maîtrise son accès. Inversement, il y a une relation entre un acteur qui contrôle la relation et un ou plusieurs autres qui en dépendent lorsqu'ils interagissent régulièrement pour un certain type d'accès à une ressource.

Toute relation est déséquilibrée : un acteur - celui qui maîtrise la ressource sous-jacente - contrôle cette relation, tandis que d'autres acteurs - ceux qui en ont besoin pour atteindre leurs objectifs - sont dépendants dans cette relation.

En effet, c'est l'acteur qui contrôle la relation qui détermine dans quelle mesure la ressource est accessible par les autres et ainsi contrôle la possibilité pour les acteurs dépendants de réaliser leurs objectifs (cf. 3.1.3). Il dispose donc d'un certain pouvoir sur ces acteurs dépendants, le pouvoir d'influer sur la réalisation de leurs objectifs.

Comme l'écrit Friedberg : «pas de pouvoir sans relation, pas de relation sans échange» (voir [Friedberg, 1993], page 115); le pouvoir suppose la relation qui implique l'échange qui lui-même nécessite des objets d'échange : les ressources. Au-delà de la nature concrète de la relation, et de la nature des ressources qu'elle met en jeu, nous nous concentrons sur les relations de pouvoir qui découlent de cette interdépendance.

L'idée que toute relation est une relation de pouvoir déséquilibrée est centrale dans la sociologie de l'action organisée (voir [Friedberg, 1993], p. 113). Mais, au niveau de l'ensemble de l'organisation, cette dépendance est réciproque. Cette réciprocité apparaît dès que l'on considère l'ensemble des relations entre les acteurs : un acteur *a* dominé par un acteur *b* dans une relation peut dominer *b* dans une autre relation, éventuellement via un troisième acteur *c*.

Un acteur dominé dans une relation, aura ainsi toujours les moyens de «monnayer», dans une certaine mesure, sa collaboration, via les relations que lui-même contrôle.

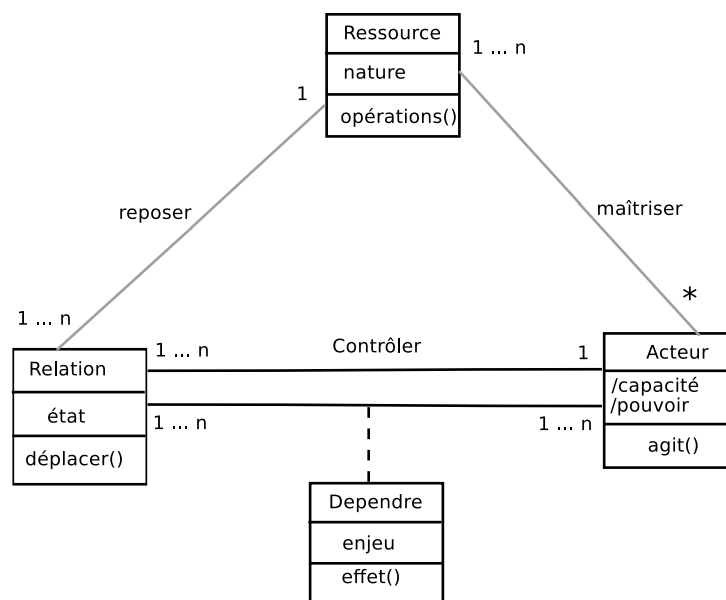


FIGURE 3.2 – Les ressources, fondements des relations

L'état d'une relation caractérise le comportement de l'acteur qui contrôle cette relation, la façon dont il la gère, et correspond donc à la notion de «termes de l'échange» de la SAO.

Puisque le comportement de chacun dans la gestion des relations qu'il contrôle a un effet direct sur les acteurs qui en dépendent, on exprime ainsi l'idée de la SAO selon laquelle les acteurs sociaux «s'échangent des comportements» comme l'indique Friedberg qui définit le pouvoir comme la «capacité de structurer l'échange négocié de comportements en sa faveur» ([Friedberg, 1993], p. 113).

Le domaine de valeur de l'état d'une relation est donc l'ensemble des comportements qui sont accessibles à l'acteur contrôleur, l'espace des comportements dont il dispose dans la gestion de cette relation. Cet espace des états d'une relation est orienté, dans la mesure où certains comportements sont plus coopératifs que d'autres. Pour simplifier les choses, nous avons fixé arbitrairement l'espace de comportement  $EC_r$  de chaque relation comme étant une échelle bi-polaire sur l'intervalle  $[-10, 10]$ , en considérant que les extrémités correspondent aux limites techniques de faisabilité ou aux limites physiques tenant à la nature même de la ressource (par exemple les clauses des contrats de travail légaux) et que  $+10$  (respectivement  $-10$ ) correspond aux comportements globalement coopératifs (resp. non coopératifs), la valeur nulle correspondant au comportement de référence, «normal», neutre<sup>2</sup>. L'unité de mesure de l'espace de comportement est la *coopérativité*.

L'acteur qui contrôle une relation peut modifier son comportement par l'intermédiaire de la méthode *agit()* qui consiste à déplacer l'état de cette relation.

Mais la SAO ne dit rien sur la façon dont les acteurs modifient leurs comportements; elle se contente de rendre compte des comportements observés. Nous avons retenu l'idée selon laquelle un acteur adopte un nouveau comportement en modifiant son comportement précédent dans le sens d'une plus grande ou plus faible coopération et non pas indépendamment de ce dernier.

L'état d'une relation a un effet sur chacun des acteurs qui en dépend : il lui procure une certaine «capacité d'action» pour atteindre ses objectifs : plus l'effet d'une relation sera élevé, plus ou mieux la ressource sera utilisable par l'acteur.

Les effets sont gradués sur une échelle de  $-10$  à  $10$ , elle aussi arbitraire :

pire cas =  $-10$ , entrave à l'accès =  $-8, \dots$ , neutre =  $0$ , facilitation de l'accès =  $4, \dots$  optimal =  $10$

La valeur des effets selon l'état d'une relation est déterminée par une fonction d'effet qui dépend de la nature de cette relation et de son utilité pour l'acteur :

$$effet_r : \mathbb{A} \times EC_r \rightarrow [-10, 10]$$

où  $\mathbb{A}$  est l'ensemble des acteurs et  $EC_r$  l'espace des comportements associés à la relation  $r$ . L'unité des mesures des effets est la capacité d'action. Le choix (par l'acteur contrôleur) d'une valeur  $e_r \in EC_r$  dans l'espace des comportements de la relation  $r$  se traduit donc par  $effet_r(a, e_r)$  pour l'acteur  $a$ .

### 3.1.2 Les acteurs et leurs enjeux

La sociologie de l'action organisée postule que chaque acteur, quelle que soit sa position, a la possibilité d'exercer sa maîtrise sur certaines zones d'incertitude, fussent-elles mineures. Dire que tout acteur contrôle au moins une relation, c'est reconnaître à tout acteur d'une organisation une certaine marge de manœuvre, celle qu'il exerce sur les ressources qu'il maîtrise et, de ce fait, dénier le statut d'acteur à toute personne qui ne parvient à maîtriser aucune ressource. De façon dialogique, les notions de relation et d'acteur se définissent l'une par rapport à l'autre : une relation n'est telle que dans la mesure où certains acteurs dépendent de la ressource sous-jacente pour réaliser leur activité; est acteur quiconque contrôle une relation. On pourra toutefois prendre en compte des ressources exogènes qui donnent lieu à des relations qui sont contrôlées par l'environnement de l'organisation et non par l'un de ses acteurs.

Dans la modélisation d'une organisation, la correspondance entre acteur et personne physique n'a rien d'automatique. À côté des acteurs individuels et des collectifs, ou «sous-organisation», rien n'empêche de considérer des acteurs pluriels, population homogène dont tous les membres sont dans la même situation de dépendance et de contrôle vis-à-vis de toutes les relations, si bien qu'ils auront des comportements similaires. C'est l'analyse sociologique qui identifie les acteurs du SAC, à un niveau de granularité qui dépend de la finalité de cette analyse<sup>3</sup>. Au final, la caractéristique constitutive

2. Cette échelle de valeurs numériques est évidemment arbitraire. Cela importe peu puisque seules sont significatifs les comparaisons entre les résultats produits par l'analyse et la simulation du modèle d'une organisation ou la valeur en proportion, i.e. sa position en pourcentage dans son domaine de valeur.

3. Le concept d'acteur ne se superpose pas avec celui de rôle comme le ferait une approche fonctionnaliste : selon la SAO, l'acteur social arbitre entre toutes les contraintes et opportunités du contexte organisationnel dans lequel il se trouve

d'un acteur est d'être en situation de contrôle vis-à-vis de relations bien identifiées, et d'être capable d'exercer ce contrôle de façon finalisée.

D'autre part, la théorie de la SAO considère que le comportement des acteurs sociaux est stratégique. Considérer un acteur comme stratégique revient à lui attribuer un comportement intéressé, c'est-à-dire «motivé[e] par une visée, sans préciser davantage la nature de cette visée ou de ce mobile» ([Friedberg, 1993], pp. 214-215).

Les relations dont un acteur dépend sont celles sous-tendues par des ressources auxquelles il a besoin d'accéder pour atteindre ses objectifs, ou du moins qu'il estime comme telles<sup>4</sup>. Chacune des relations dont dépend un acteur aura donc plus ou moins de valeur à ses yeux, c'est ce que traduit la notion d'*enjeu*. Chaque acteur répartit des enjeux sur certaines relations, y compris celles qu'il contrôle puisqu'il ne saurait être indifférent à son propre comportement, en fonction de ses objectifs : plus l'usage de la ressource accessible via la relation est nécessaire pour atteindre un objectif important, plus l'acteur place un enjeu élevé sur cette relation.

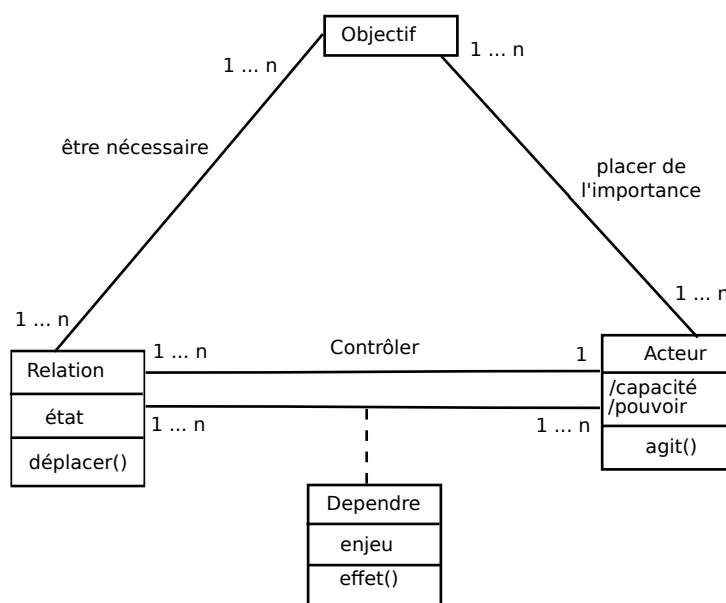


FIGURE 3.3 – Les objectifs d'un acteur déterminent ses enjeux sur chaque relation

Cette répartition des enjeux d'un acteur correspond à l'impact opérationnel de ses objectifs sur son comportement. Pour l'analyse du fonctionnement d'une organisation, ce n'est pas tant la nature des objectifs des acteurs qui importe que ce dont ils ont besoin pour les accomplir. Les enjeux sont le maillon qui, conformément à l'hypothèse de rationalité des acteurs<sup>5</sup>, permet de relier le comportement d'un acteur à ses objectifs, comme le montre la figure 3.3.

La distribution des enjeux sur une échelle de valeurs numériques nous permettra de dégager des indicateurs synthétiques quantitatifs. Les enjeux sont des coefficients sur la capacité d'action, gradués sur une échelle de 0 à 10, là encore arbitraire :

nul = 0, négligeable = 1, ..., important = 5, ... vital = 10.

Nous attribuons à chaque acteur la même quantité de points d'enjeux à répartir, fixée arbitrairement à 10, selon l'idée que tous les acteurs d'une organisation ont le même investissement dans le jeu

4. On modélise en effet la façon dont les acteurs se représentent le fonctionnement de l'organisation, et non pas l'analyse «objective» qu'un observateur pourrait en faire

5. Que Friedberg qualifie de «située» pour insister sur les limitations que Simon a mises en lumière [Simon, 1984] et les inscrire dans le contexte de l'action ([Friedberg, 1993], p. 214)



social, quelle que soit leur position<sup>6</sup>. Ceci dit, on peut modéliser le moindre intérêt d'un acteur par l'introduction d'une relation d'effet constant dont il est seul à dépendre et qu'il contrôle.

### 3.1.3 Capacité d'action et pouvoir d'un acteur

Soit un acteur  $a$  dépendant d'une relation  $r$ . Lorsque  $r$  est dans l'état  $e_r$ , elle produit sur  $a$  un certain effet, calculé par la fonction  $effet_r(a, e_r)$  à hauteur d'un certain enjeu,  $enjeu(a, r)$ . Nous nommerons *impact* de la relation  $r$  sur l'acteur  $a$ , l'effet de la relation  $r$  pondéré par l'enjeu qu'il pose sur  $r$  :

$$impact(a, r, e_r) = enjeu(a, r) \times effet_r(a, e_r)$$

Une grandeur particulièrement significative est alors, pour chaque acteur, l'agrégation, sur l'ensemble des relations dont il dépend, des impacts de ces relations sur chaque acteur.

Nous l'appellerons la *capacité d'action* d'un acteur (de préférence au terme d'utilité couramment employé en économie, en ce qu'il est plus descriptif et évocateur d'une rationalité limitée) ; elle évalue la possibilité de l'acteur d'accéder à l'ensemble des ressources dont il a besoin pour atteindre ses objectifs, pondérée par son besoin de ces ressources. De ce fait, elle mesure, pour un acteur, sa capacité d'action à disposer des moyens nécessaires à la réalisation de ses objectifs. Nous noterons  $CA(a, e)$  la capacité d'action d'un acteur  $a$  lorsque l'organisation est dans l'état  $e$ . Pour autant qu'il n'y a pas d'interférences entre la mobilisation des ressources (cf.??), cette capacité peut être définie comme la *somme* des impacts des relations dont un acteur dépend :

$$\begin{aligned} CA(a, e) &= \sum_r enjeu(a, r) \times effet_r(a, e_r) \\ &= \sum_r impact(a, r, e_r) \end{aligned}$$

où  $e_r$  est l'état de la relation  $r$  lorsque l'organisation est dans l'état  $e$ .

Une autre grandeur significative est la mesure selon laquelle un acteur contribue à la capacité d'action des autres acteurs, c'est-à-dire la quantité de capacité d'action qu'il leur prodigue. C'est ce qui nous semble le mieux exprimer la notion de pouvoir qui est au cœur de la sociologie de l'action organisée. Nous pouvons alors quantifier le pouvoir qu'un acteur  $a$  exerce sur les autres dans un état du système d'action  $e$  de la façon suivante :

$$\begin{aligned} Pouvoir(a, e) &= \sum_{r ; a \text{ contrôle } r} \sum_{b \in \mathbb{A}} enjeu(b, r) \times effet_r(b, e_r) \\ &= \sum_{r ; a \text{ contrôle } r} \sum_{b \in \mathbb{A}} impact(r, b, e) \end{aligned}$$

### 3.1.4 Le jeu social

Sur la base de ce qui précède, nous pouvons formuler la définition d'une organisation sous la forme mathématique suivante :

- $\mathbb{A} = \{a_1, \dots, a_n\}$
- $\mathcal{R} = \{r_1, \dots, r_m\}$

A chaque relation est associée une variable état qui prend ses valeurs dans son espace de comportements  $EC_r$ . L'état d'une organisation est alors défini comme la donnée de l'état de chacune des relations, c'est-à-dire un vecteur  $e = (e_{r1}, \dots, e_{rM}) \in \prod_{r \in \mathcal{R}} EC_r$ .

---

6. En effet, Friedberg écrit que «aucun acteur d'un système (construit comme tel par l'analyste) ne peut y être sans intérêt et sans enjeu». Il propose de distinguer l'«engagement dans le jeu» et les «préférences» pour le jeu i.e. avoir des intérêts dans le jeu. On peut n'être que peu engagé dans le jeu c'est-à-dire, comme les postiers «retraitistes» des centres de tris postaux étudiés par Sainsaulieu [Sainsaulieu, 1977], vivre pour les loisirs, mais on ne peut pas ne pas y avoir un intérêt. Pour être en mesure de se désengager du jeu, il faut jouer le jeu pour obtenir par exemple le maximum d'aménagements d'horaires, des «entorses» au règlement, etc. Donc, nous nous plaçons bien ici sur le plan des «préférences» et non sur le plan de l'«engagement» pour le jeu.

- *contrôle* :  $\mathcal{R} \rightarrow \mathbb{A}$ , une fonction qui indique quel est l'acteur qui contrôle chaque relation, et sa réciproque, notée *contrôle*<sup>-1</sup>
- Pour chaque relation  $r$ , une fonction *effet* <sub>$r$</sub>  :  $\mathbb{A} \times EC_r \rightarrow [-10, 10]$  indique la capacité d'action obtenue par chacun des acteurs en fonction de l'état de  $r$ .
- *enjeu* :  $\mathbb{A} \times \mathcal{R} \rightarrow [0, 10]$ , une fonction qui indique l'enjeu que chaque acteur place sur chacune des relations, telle que  $\forall a \in \mathbb{A}, \sum_{r \in \mathcal{R}} \text{enjeu}(a, r) = 10$ .

Une organisation apparaît alors comme étant un automate, ou un jeu, puisque chaque acteur peut modifier l'état de l'organisation en agissant sur l'état des relations qu'ils contrôlent et obtenir en retour une certaine capacité d'action.

Une telle action est définie comme un vecteur  $(d_r)_{r \in \text{contrôle}^{-1}(a)}$  tel que  $e_r + d_r \in EC_r$  pour chaque relation  $r \in \text{contrôle}^{-1}(a)$ .

Le fait de considérer que les acteurs agissent de façon synchrone conduit à définir la fonction de transition suivante, pour l'ensemble du SAC :

$$\begin{aligned} \text{Transition} : \text{Etat} \times \text{Action} &\rightarrow \text{Etat} \\ (e_{r_1}, \dots, e_{r_m}) \times (d_{r_1}, \dots, d_{r_m}) &\mapsto (e_{r_1} + d_{r_1}, \dots, e_{r_m} + d_{r_m}) \end{aligned}$$

où  $d_{r_i}$  est fixé par l'acteur  $a_j = \text{contrôle}(r_i), r_i \in \mathcal{R}$ .

La dimension stratégique que la SAO reconnaît aux comportements des acteurs sociaux conduit à considérer qu'ils mobilisent les ressources qu'ils maîtrisent, et donc les relations qu'ils contrôlent, de façon à pouvoir réaliser leurs objectifs, c'est-à-dire à obtenir des autres acteurs une capacité d'action suffisante pour ce faire. Un modèle d'une organisation apparaît alors comme étant un jeu, dans lequel le comportement de chaque acteur est guidé par le *méta-objectif* consistant à obtenir les moyens de ses objectifs concrets, à savoir une valeur acceptable (à défaut de l'optimum) de sa capacité d'action<sup>7</sup>.

Le jeu *social* se distingue toutefois des jeux considérés en économie : son objet n'est pas de mettre en évidence comment chaque acteur peut parvenir à maximiser sa capacité mais dans quelle mesure le jeu peut parvenir à un état stationnaire. Dans une telle configuration, chacun ne cherche plus à modifier l'état des relations qu'il contrôle car il a obtenu une capacité d'action acceptable ; les comportements des acteurs s'équilibrent les uns les autres, l'organisation se trouve régulée, ce qui est la condition même de son existence.

## 3.2 Extensions du méta-modèle des organisations

L'utilisation de ce méta-modèle pour modéliser des SAC, par exemple les cas d'école présentés dans [Bernoux, 1985], nous a conduit à le compléter avec différents éléments que nous présentons dans cette section (cf. figure 3.4). Si ces éléments ne font pas l'objet de développements explicites dans le corpus de la SAO, ils y sont sous-jacents et sont parfaitement compatibles avec cette théorie.

### 3.2.1 Contraintes sur l'état d'une relation

L'acteur qui contrôle une relation ne peut pas pour autant attribuer n'importe quels effets aux acteurs dépendant de cette relation. Il doit respecter «les règles du jeu social» qui déterminent, pour partie, son comportement et donc l'état des relations qu'il contrôle.

C'est pourquoi, à l'intérieur de l'espace de comportement de chaque relation, il existe d'autres contraintes dont l'origine est soit institutionnelle de par les règles formelles internes ou imposées à l'organisation, soit encore tenant à l'acceptabilité sociale en fonction des normes en vigueur [Kellerhals et al., 1992]. Nous proposons de formaliser ces contraintes sur l'état d'une relation par deux valeurs :  $b_{min}$  et  $b_{max}$  telles que  $-10 \leq b_{min} < b_{max} \leq 10$ .

Nous dirons alors que l'intervalle  $[b_{min}, b_{max}]$  est la *marge de manœuvre* de l'acteur qui contrôle la relation et son amplitude  $(b_{max} - b_{min})$  représente l'*étendue de son contrôle* sur la relation.

---

7. Ou plus précisément sa satisfaction, que nous introduirons en partie 3.2.3

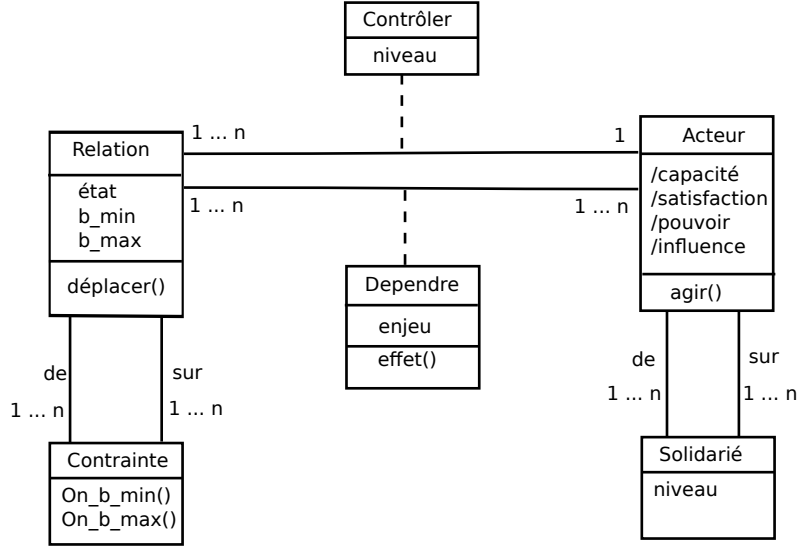


FIGURE 3.4 – Le méta-modèle étendu des SAC.

Par exemple, dans le cas Trouville [Smets, 2005], le directeur de l'agence Travel Tour, qui contrôle la relation «emploi», n'a pas la possibilité d'établir un contrat de travail définitif (l'équivalent d'un CDI), ce que traduirait la valeur maximale (10) de l'état de cette relation.

Au mieux, le directeur ne peut que renouveler le contrat de travail temporaire de la secrétaire, ce qui se modélise par une borne  $b_{max} \leq 10$ .

### 3.2.2 Les contraintes entre relations

Le SAC emblématique de la SAO, à savoir «le monopole industriel» (en l'occurrence la SEITA) ( voir [Crozier, 1963], pp. 67-174 et 186-214 ), comporte une relation concernant «l'entretien des machines», maîtrisée par les «ouvriers d'entretien», et une autre relation qui porte sur «la production», maîtrisée par les «ouvriers de production». Il s'avère impossible de modéliser correctement ce cas en ignorant que la façon dont les ouvriers d'entretien s'occupent des machines détermine la marge de manœuvre des ouvriers de production : si les machines fonctionnent mal, les ouvriers de production auront du mal à s'investir dans la production, quelle que soit leur bonne volonté.

Cela conduit à introduire les contraintes qu'une relation peut exercer sur une autre en agissant sur son intervalle  $[b_{min}, b_{max}]$  et donc sur l'étendue du contrôle de cette dernière. La contrainte qu'une relation  $r$  exerce sur une relation  $r'$  peut s'exprimer par l'intermédiaire de deux fonctions :

$$on\_bmin_{r,r'} : EC_r \rightarrow EC_{r'}$$

et

$$on\_bmax_{r,r'} : EC_r \rightarrow EC_{r'}$$

telles que dans l'état  $e = (e_{r_1}, \dots, e_{r_m})$  de l'organisation :

$$b_{min\ r'} = \max_r \{on\_bmin_{r,r'}(e_r)\}$$

$$b_{max\ r'} = \min_r \{on\_bmax_{r,r'}(e_r)\}$$

Par défaut, si la relation  $r$  ne contraint pas la relation  $r'$ , on aura :

$$on\_bmin_{r,r'} = -10$$

et

$$on\_bmax_{r,r'} = 10.$$

### 3.2.3 Les solidarités

Les ressources d'une organisation, et la façon dont elles sont instrumentées en relations par les acteurs, ne suffisent pas toujours à rendre compte du comportement des acteurs. Les comportements des acteurs peuvent en effet être influencés par des liens familiaux (par exemple dans le cas «Bolet» [Bernoux, 1985]), des solidarités de condition sociale, de classe ou d'éducation, etc. qui sont extérieures à l'organisation, ainsi que des convergences ou divergences d'intérêts internes qui sont explicitement reconnues et délibérément confortées par les acteurs. Il nous faut aussi pouvoir rendre compte des *coalitions*, acteurs abstraits au succès desquels les participants ont un certain intérêt.

Cela nous a conduit à introduire les solidarités que les acteurs peuvent avoir les uns envers les autres sous la forme d'une fonction :

$$\text{Solidarité}(a, b) : \mathbb{A} \times \mathbb{A} \rightarrow [-1, 1]$$

Les valeurs négatives de solidarités représentent des hostilités, les valeurs nulles l'indifférence et les valeurs positives les solidarités.

On peut normaliser la solidarité des acteurs en imposant la contrainte  $\sum_{b \in \mathbb{A}} \text{solidarité}(a, b) = 1$  ou bien  $\sum_{b \in \mathbb{A}} |\text{solidarité}(a, b)| = 1$  ; discuter les interprétations correspondantes nécessiterait un long développement.

Ces solidarités permettent de quantifier dans quelle mesure un acteur prend en compte non seulement sa propre capacité mais aussi celle des acteurs dont il est solidaire positivement (coefficient compris entre 0 et 1) ou négativement (coefficient entre -1 et 0). Elles peuvent donc être des coefficients pour la capacité d'action.

La prise en compte des solidarités conduit à introduire, pour caractériser la situation d'un acteur dans un état de l'organisation, deux autres grandeurs en complément de la capacité et du pouvoir introduits en 3.1.3 :

$$\begin{aligned} \text{Satisfaction}(a, e) &= \sum_{b \in \mathbb{A}} \text{solidarité}(a, b) \times CA(b, e) \\ \text{Influence}(a, e) &= \sum_{c \in \mathbb{A}} \sum_{b \in \mathbb{A}} \text{solidarité}(c, b) \times \sum_{r \in \mathcal{R}, a \text{ contrôle } r} \text{impact}(b, r, e_r) \end{aligned}$$

Satisfaction et influence rendent compte de la façon dont chaque acteur se représente le jeu social en fonction de ses liens avec les autres acteurs ; dans le jeu social, c'est donc d'obtenir un bon niveau de satisfaction qui va guider le comportement de chaque acteur. De leur côté, capacité et pouvoir expriment ce qu'il en est des moyens dont ils disposent *effectivement* (et qu'ils procurent aux autres) pour réaliser leurs objectifs.

En l'absence de solidarités, lorsque chaque acteur est solidaire exclusivement de lui-même, la satisfaction se ramène à la capacité et l'influence au pouvoir.

### 3.2.4 Le contrôle partagé des relations

Puisque c'est chaque acteur, in fine, qui décide de son propre comportement, il ne saurait être question, selon la SAO, qu'une relation soit contrôlée par plusieurs acteurs. Rien n'empêche cependant de considérer une telle situation. Il suffit pour cela de déterminer comment le contrôle d'une relation se répartit entre les acteurs, par une fonction :

$$\text{Contrôle}(r, a) : \mathcal{R} \times \mathbb{A} \rightarrow [0, 1]$$

telle que  $\forall r \in \mathcal{R}, \sum_{a \in \mathbb{A}} \text{contrôle}(r, a) = 1$ .

Dans ce cas, si  $d_{a_i, r}$  est l'action de l'acteur  $a_i$  sur la relation  $r$ , le nouvel état  $e'_r$  de  $r$  résultant de l'exécution de cette action est déterminé selon le pourcentage de contrôle partagé :

$$e'_{r_j} = e_{r_j} + \sum_{a_i \in \mathbb{A}} \text{contrôle}(r, a_i) \times d_{a_i, r}$$

### 3.2.5 Les interdépendances entre les impacts d'une relation sur un acteur

Les formules utilisées pour déterminer la capacité et la satisfaction d'un acteur considèrent que les effets des différentes relations dont il dépend sur sa capacité d'action sont indépendants les uns des autres : la simple addition des impacts ne permet pas d'exprimer, par exemple, que deux relations sont redondantes (un bon effet pour l'une des deux compense un déficit sur l'autre) ou complémentaires (un bon effet pour l'une n'est opérant que s'il est accompagné d'un bon effet également sur l'autre).

Ces interdépendances entre les relations relèvent d'un problème d'agrégation des préférences ([Roy, 1985], [Grabisch and Roubens, 2000], [Grabisch, 2006] [Grabisch and Perny, 1999]), qui est un problème classique en théorie de la décision.

Pour prendre en compte ces différents cas, plutôt que de chercher une autre fonction d'agrégation, nous proposons de considérer deux types de relations : d'une part des *relations élémentaires*, celles que nous avons considérées jusqu'à présent, et d'autre part des *relations composées*, abstraites, dont l'état est une agrégation des états des relations élémentaires les composant (cf. figure 3.5). Des relations en interdépendance peuvent alors être regroupées dans une relation composée dont la fonction d'agrégation exprime la nature de ces interdépendances.

Par exemple, si deux relations sont redondantes pour un acteur, il posera ses enjeux sur une nouvelle relation composée de celles-ci et dont l'état est défini comme le maximum de leurs états respectifs, ou comme le minimum si elles sont complémentaires. Les interactions entre relations élémentaires étant gérées par les relations composées, les enjeux d'un acteur peuvent alors être posés sur des relations indépendantes les unes des autres, et leurs impacts additionnés.

Remarquons que ce mécanisme subsume le contrôle partagé introduit ci-dessus, une relation contrôlée par deux acteurs (ou plus) pouvant être décomposée en deux (ou plusieurs) sous-relations contrôlées chacune par un acteur, et dont les effets sur ceux qui en dépendent sont agrégés au prorata du niveau de contrôle de chacun.

Cette extension du pouvoir d'expression du méta-modèle permet donc de s'affranchir de l'hypothèse d'indépendance des effets des relations. Reste l'hypothèse de *commensurabilité*, et donc de comparabilité, de ces effets, notamment le fait qu'un effet négatif peut être compensé par un effet positif. Il est possible de s'en affranchir en considérant que l'effet d'une relation sur un acteur comporte plusieurs dimensions et donc que son domaine de valeur  $EC_r$  est un vecteur dont chaque composante correspond à l'une de ces dimensions. L'hypothèse de comparabilité, qui résulte de l'hypothèse que chaque acteur est en mesure d'évaluer sa situation sous la forme un bilan des impacts qu'il perçoit, est alors limitée à chacune de ces dimensions.

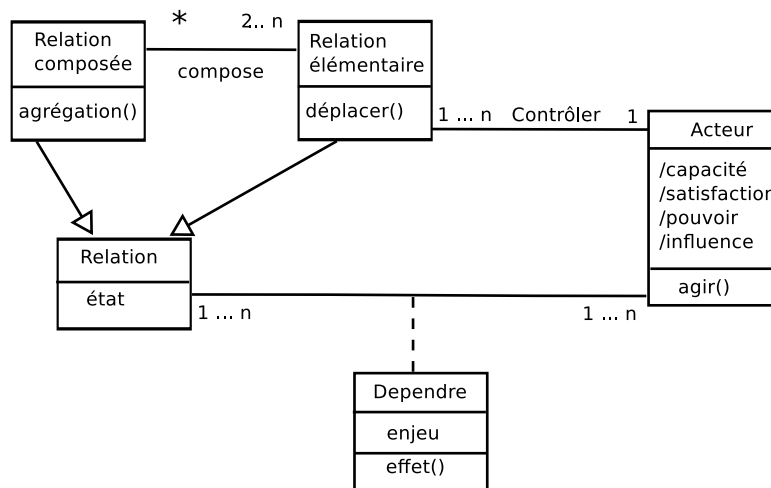


FIGURE 3.5 – La prise en compte des interdépendances entre les impacts des relations.

### 3.3 Représentation matricielle d'un modèle de SAC

Nous pouvons donner une représentation matricielle de la structure d'une organisation, qui en condense tous les éléments en quelques matrices dont la composition nous permettra de définir des indicateurs.

Soit un modèle d'organisation constitué de  $n$  acteurs et de  $m$  relations. Ce modèle peut être vu comme la donnée de quatre matrices :

- $C \in \mathcal{M}_{n,m}(0,1)$ , la matrice de contrôle dont le terme général  $C_{i,j}$  vaut 1 si l'acteur  $i$  contrôle la relation  $j$ , 0 sinon, pour autant qu'il n'y ai pas de contrôle partagé.
- $Enj \in \mathcal{M}_{n,m}(\mathbb{N})$ , la matrice d'enjeux dont le terme général  $Enj_{i,j}$  correspond à l'enjeu que place l'acteur  $i$  sur la relation  $j$ .
- $Eff(e) \in \mathcal{M}_{n,m}$ , la matrice des fonctions d'effets, dont le terme général est  $Eff_{i,j} = effet(a_i, r_j, e_j)$
- $Sol \in \mathcal{M}_{n,n}([-1,1])$ , la matrice des solidarités, dont le terme général  $Sol_{i,j}$  est la solidarité que pose l'acteur  $i$  sur l'acteur  $j$

De ces matrices, nous pouvons déduire la matrice d'impacts,  $I$ , formée du produit terme à terme (noté  $\boxtimes$ ) des matrices  $Enj$  et  $Eff$ . Le terme général de la matrice d'impact,  $I_{i,j}$  est donc la fonction  $impact(i, j, -)$ , qui, pour un état  $e$  donné, calcule l'impact de la relation  $j$  sur l'acteur  $i$ .

$$I(e) = Enj \boxtimes Eff(e)$$

avec

$$\begin{aligned} I_{i,j}(e) &= Enj_{i,j} \times Eff_{i,j}(e) \\ &= enjeu(i, j) \times effet(i, j, e) \end{aligned}$$

A partir de cette matrice d'impact, et avec la donnée de la matrice de contrôle  $C$ , et la matrice de solidarités  $Sol$ , nous pouvons dériver de nombreux indicateurs qui permettent de mettre en évidence diverses propriétés d'une organisation. Parmi ces indicateurs, nous distinguons les indicateurs *structuraux*, indépendant de l'état de l'organisation, des indicateurs *contextuels*, fonction d'un état particulier de l'organisation (cf section 3.4.2).

Après avoir précisé la terminologie et les notations, nous évoquerons le problème de l'agrégation d'éléments pour obtenir ces indicateurs, avant de les expliciter. Nous revenons dans un premier temps sur les notions de capacité d'action et de pouvoir, déjà introduites dans ce qui précède, qui s'obtiennent facilement à partir de ces matrices.

### 3.4 Les indicateurs

Plusieurs indicateurs peuvent être calculés à partir des éléments du méta-modèle présentés ci-dessus.

Les indicateurs peuvent porter sur un acteur, une relation, une dyade (acteur, relation) ou (acteur, acteur), ou l'organisation dans son ensemble.

Concernant les acteurs, on s'intéressera à deux types de mesures.

D'une part, on considérera des mesures portant sur les échanges de comportements qui ont lieu entre les acteurs, en terme de capacité d'action. Les capacités reçues par un acteur lui sont prodiguées par d'autres acteurs, et la somme des capacités d'action est égale à la somme des pouvoirs.

D'autre part, on considérera des mesures qui portent sur la position des acteurs dans le jeu, les moyens dont ils disposent pour atteindre leurs objectifs, les contraintes qu'ils subissent et la nature des liens qui les unissent.

Les relations étant le support des interactions entre les acteurs d'une organisation, on s'intéressera à des mesures de l'effet qu'elles induisent sur la structure du jeu, et leur importance stratégique dans la poursuite des objectifs des acteurs.

### 3.4.1 Capacité d'action et Pouvoir d'un acteur

La matrice d'impacts fournit, pour tous les acteurs et toutes les relations d'un modèle d'organisation, ce que retire chaque acteur de chacune des relations dans lesquelles il est engagé. Le terme général  $I(e)_{i,j}$  de cette matrice est l'impact de la relation  $r_j$  dans l'état  $e_r$  sur l'acteur  $a_i$ .

Si la capacité d'action d'un acteur  $a_i$  est définie par la somme des impacts qu'il reçoit des relations dont il dépend, sa capacité d'action est donnée par la somme des termes de la  $i^{\text{ème}}$  ligne de la matrice d'impacts.

On peut obtenir le vecteur des capacité d'actions des acteurs en appliquant la matrice  $I(e)$  au vecteur unité de taille  $m$ , noté  $id_m$ .

$$I(e).id_m = \begin{pmatrix} \sum_j I(e)_{1,j} \\ \vdots \\ \sum_j I(e)_{i,j} \\ \vdots \\ \sum_j I(e)_{n,j} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} CA(a_1, e) \\ \vdots \\ CA(a_i, e) \\ \vdots \\ CA(a_n, e) \end{pmatrix}$$

On obtient le vecteurs des satisfactions des acteurs en multipliant au préalable la matrice d'impacts  $I(e)$  par la matrice de solidarités  $Sol$ .

$$Sol.(I(e). \begin{pmatrix} 1 \\ \vdots \\ 1 \end{pmatrix}) = \begin{pmatrix} Satis(a_1, e) \\ \vdots \\ Satis(a_i, e) \\ \vdots \\ Satis(a_n, e) \end{pmatrix}$$

Si le pouvoir d'un acteur est défini comme la somme des impacts des relations qu'il contrôle sur les acteurs de l'organisation, on obtient le vecteur des pouvoirs des acteurs à partir du produit de la matrice d'impacts transposée et du vecteur unité de taille  $n$ , noté  $id_n$ . Le résultat de ce produit est un vecteur de taille  $m$  que nous notons  $V$  dont chaque composante est la somme des impacts d'une relation.

$$V = I(e)^T.id_n = \begin{pmatrix} \sum_i I(e)_{i,1} \\ \vdots \\ \sum_i I(e)_{i,j} \\ \vdots \\ \sum_i I(e)_{i,m} \end{pmatrix}$$

Il suffit ensuite de sommer les composantes de ce vecteur qui correspondent aux relations qu'un acteur contrôle pour obtenir son pouvoir. Cela revient à multiplier la matrice de contrôle  $C$  par ce vecteur, pour obtenir le vecteur des pouvoirs des acteurs. Le terme  $(i, j)$  de  $C$  vaut 1 si l'acteur  $a_i$  contrôle la relation  $r_j$ , 0 sinon. Le produit matriciel assure alors que la ligne  $i$  du produit  $C.V$  est constitué de la somme des impacts sur les acteurs des relations que  $a_i$  contrôle.

$$C.V = \begin{pmatrix} Pouvoir(a_1, e) \\ \vdots \\ Pouvoir(a_i, e) \\ \vdots \\ Pouvoir(a_n, e) \end{pmatrix}$$

### 3.4.2 A propos de la terminologie et des notations

#### Des indicateurs contextuels aux indicateurs structurels

Le modèle de la structure d'une organisation définit un espace d'état,  $\prod_{r \in \mathcal{R}} EC_r$ , où chaque état représente la plus ou moins grande coopérativité des acteurs dans la gestion des relations qu'ils contrôlent. L'espace d'état décrit la gamme des fonctionnements de l'organisation.

C'est pourquoi nous allons distinguer deux types d'indicateurs : ceux qui caractérisent un état particulier de l'organisation, et ceux qui sont indépendants de l'état dans lequel l'organisation peut se trouver.

Les indicateurs relatifs à un état particulier de l'organisation sont qualifiés de *contextuels*. Ils rendent compte de propriétés *effectives* de l'organisation, au sens où ils dépendent du comportement adopté par les acteurs. Typiquement, on mobilise ces indicateurs pour étudier l'état vers lequel converge une simulation de la régulation des comportements des acteurs, pour qualifier le résultat du jeu social.

D'autre part, les indicateurs indépendants de l'état d'une organisation sont qualifiés de *structurels* et caractérisent le potentiel de l'organisation, l'effet induit par sa structure sur ses modes de fonctionnement. Par exemple, un indicateur structurel peut être le maximum, le minimum ou l'amplitude de valeurs que peut prendre un indicateur contextuel.

#### Indicateurs ego-centrés et socio-centrés

Un indicateur faisant intervenir un acteur  $a$  peut être décliné en deux versions, selon qu'il inclut ou non dans son expression les termes de solidarité qu'entretient  $a$  avec les autres acteurs.

La version qui fait intervenir les termes de solidarités sera qualifiée de *socio-centrée*, tandis que l'autre sera qualifiée d'*ego-centrée*. Par convention, nous noterons un indicateur socio-centré avec la lettre  $s$  en indice (voir par exemple le cas des impacts ci-dessous).

Cette règle n'est pas absolue : parfois nous emploierons deux termes différents plutôt que d'utiliser cette notation, lorsque ces termes sont plus parlants. C'est le cas notamment de la satisfaction et de l'influence d'un acteur, qui sont en fait les versions socio-centrées de la capacité d'action et du pouvoir, et qui pourraient être notées en toute rigueur  $CA_s$  et  $Pouvoir_s$ .

### 3.4.3 Indicateurs relatifs aux relations

#### Indicateurs contextuels

L'*impact* d'une relation  $r$  sur un acteur  $a$  lorsque celle-ci est dans l'état  $e_r$  est défini comme la pondération de l'effet que produit  $r$  sur  $a$  par l'enjeu que  $a$  pose sur  $r$ .

$$impact(r, a, e_r) = enjeu(a, r) \times effet(r, a, e_r)$$

La prise en compte des solidarités entre  $a$  et les autres acteurs du système conduit à définir l'*impact<sub>s</sub>* d'une relation  $r$  sur l'acteur  $a$  :

$$impact_s(r, a, e_r) = \sum_{b \in \mathbb{A}} sol(a, b) \times enjeu(b, r) \times effet(r, b, e_r)$$

Pour évaluer l'impact d'une relation  $r$  sur l'ensemble des acteurs d'une organisation, on peut considérer l'agrégation des impacts de  $r$  sur les acteurs.

$$impact(r, e_r) = \sum_{a \in \mathbb{A}} impact(r, a, e_r)$$

$$impact_s(r, e_r) = \sum_{a \in \mathbb{A}} impact_s(r, a, e_r)$$

Les effets et impacts des relations sur un acteur peuvent être agrégés au niveau de l'ensemble de tous les acteurs, mais il ne semble pas que ces indicateurs soient très significatifs du point de vue



sociologique, hormis le classement des relations selon l'importance de leur impact global. Partant de l'effet et de l'impact des relations que contrôle un acteur, on s'intéressera davantage au pouvoir qu'il exerce sur chacun des acteurs qui en dépendent.

## Indicateurs structurels

### Pertinence d'une relation

La pertinence d'une relation reflète son importance pour le fonctionnement de l'organisation, en fonction des objectifs que les acteurs de l'organisation poursuivent. Pour une relation  $r$ , la pertinence est définie comme la somme des enjeux que les acteurs de l'organisation posent sur celle-ci.

$$pertinence(r) = \sum_{a \in \mathbb{A}} enjeu(r, a)$$

Si un acteur  $a$  ne dépend pas directement d'une relation  $r$ , le fait qu'il soit solidaire d'un autre acteur  $b$ , qui en dépend ( $enjeu(b, r) \neq 0$ ), fait que la relation  $r$  revêt une certaine importance aux yeux de  $a$ , à hauteur de  $sol(a, b) \times enjeu(b, r)$ .

On définit donc :

$$pertinence_s(r) = \sum_{a \in \mathbb{A}} \sum_{b \in \mathbb{A}} |sol(a, b)| \times enjeu(b, r)$$

Comme nous nous plaçons du point de vue de la ressource sous-jacente à  $r$ , le signe des solidarités (hostilité ou solidarité) importe peu, seul le poids de cette solidarité caractérise l'importance de la ressource, d'où l'emploi de la valeur absolue.

### Force d'une relation

La *force potentielle* d'une relation  $r$  sur un acteur  $a$  est définie comme l'amplitude de la fonction d'effet, i.e. l'écart entre la valeur maximale et minimale que peut prendre l'effet de  $r$  sur  $a$ .

$$force_{potentielle}(r, a) = \max_{e \in [b_{min}; b_{max}]} \{effet(r, a, e)\} - \min_{e' \in [b_{min}; b_{max}]} \{effet(r, a, e')\}$$

Cet indicateur mesure la quantité de pouvoir que la structure de l'organisation permet d'exercer à l'acteur qui contrôle cette relation, sans tenir compte du contexte (i.e. l'état des autres relations) dans lequel ce pouvoir sera exercé.

S'agissant d'un indicateur dyadique, qui relie une relation et un acteur, on peut considérer ce qu'il en est vis-à-vis de l'ensemble des acteurs en appliquant les opérateurs de maximum, minimum, somme et moyenne de ces indicateurs sur l'ensemble des acteurs de l'organisation.

La *force potentielle maximale*<sup>8</sup> d'une relation  $r$  est la valeur maximale que peut prendre la force potentielle d'une relation parmi les acteurs qui en dépendent.

$$force_{potentielle \ max}(r) = \max_{a \in \mathbb{A}} \{force_{potentielle}(r, a)\}$$

L'importance de cet indicateur, comparé aux deux suivants, tient à ce que l'on peut considérer qu'une relation forte pour un acteur influera sensiblement sur le comportement de ce dernier, et donc sur la façon dont l'organisation sera régulée.

La force totale et moyenne sont définies de la façon suivante :

$$force_{potentielle \ totale}(r) = \sum_{a \in \mathbb{A}} force_{potentielle}(r, a)$$

---

8. On peut considérer de la même façon la force potentielle minimale d'une relation, et de manière générale, pour tout indicateur « maximal », son équivalent « minimal ».

$$force_{potentielle\ moyenne}(r) = \frac{force_{potentielle_{totale}}(r, a)}{Card(\mathbb{A})}$$

Ces deux indicateurs permettent de déterminer a priori le classement des relations « sensibles » du SAC, celles dont l'état (et ses variations) a l'effet le plus important sur l'organisation, par rapport aux autres relations.

La *force* d'une relation  $r$  sur un acteur  $a$  est la force potentielle de  $r$  sur  $a$ , pondérée par l'enjeu posé par  $a$  sur  $r$ . L'enjeu que  $a$  place sur  $r$  actualise la force potentielle de  $r$  : la force caractérise l'amplitude avec laquelle les effets de  $r$  affectent la capacité d'action de  $a$ . La force d'une relation est le pendant structurel de son impact.

$$force(r, a) = force_{potentielle}(r, a) \times enjeu(r, a)$$

Le maximum, la somme et la moyenne de l'impact potentiel d'une relation se définissent de la façon suivante :

$$force_{max}(r) = \max_{a \in \mathbb{A}} force(r, a)$$

$$force_{totale}(r) = \sum_{a \in \mathbb{A}} force(r, a)$$

$$force_{moyenne}(r) = \frac{\sum_{a \in \mathbb{A}} force(r, a)}{Card(\mathbb{A})}$$

Nous pouvons maintenant intégrer les solidarités à chacun des indicateurs ci-dessus en considérant non seulement la force d'une relation  $r$  aux yeux d'un acteur  $a$ , mais aussi les forces de  $r$  sur les autres acteurs du SAC avec lesquels  $a$  entretient des solidarités (cf section 3.2.3). Nous obtenons alors un indicateur qui caractérise l'amplitude de l'effet de  $r$  sur la satisfaction de  $a$ .

$$force_s(r, a) = \sum_{b \in \mathbb{A}} |solidarité(a, b)| \times force_{individuelle}(b, r)$$

La somme, le maximum et la moyenne des forces d'une relation sont alors définis par :

$$force_s\ totale(r) = \sum_{a \in \mathbb{A}} force_s(r, a)$$

$$force_s\ max(r) = \max_{a \in \mathbb{A}} \{force_s(r, a)\}$$

$$force_s\ moyenne(r) = \frac{\sum_{a \in \mathbb{A}} force_s(r, a)}{Card(\mathbb{A})}$$

### 3.4.4 Indicateurs relatifs aux acteurs

#### Indicateurs contextuels

#### Capacité d'action d'un acteur

La *capacité d'action* d'un acteur  $a$  est l'indicateur qui permet d'évaluer globalement sa situation vis-à-vis de ses objectifs. La capacité d'action de  $a$  lorsque l'organisation est dans un état  $e$  résulte de la disponibilité des ressources nécessaire à l'action de  $a$ , lorsque les acteurs de l'organisation adoptent ce comportement. Il s'agit d'une agrégation des impacts des relations dont  $a$  dépend, une combinaison de l'effet de ces relations, pondérés par leur importance (enjeux). La capacité d'action sera d'autant

plus élevée que les relations importantes aux yeux de  $a$  ont un effet élevé sur lui et lui donnent les moyens d'entreprendre son action.

$$\begin{aligned} CA(a, e) &= \sum_{r \in \text{mathcal{R}}} enjeu(r, a) \times effet(r, a, e_r) \\ &= \sum_{r \in \mathcal{R}} impact(r, a, e_r) \end{aligned}$$

La *capacité d'action autonome* d'un acteur  $a$  est la part de capacité d'action qui provient des relations qu'il contrôle.

$$CA_{\text{autonome}}(a, e) = \sum_{r \in \mathcal{R}, a \text{ contrôle } r} impact(r, a, e_r)$$

### Satisfaction d'un acteur

La *satisfaction* d'un acteur  $a$  est la version socio-centrée de la capacité d'action. Elle évalue la situation d'un acteur tenant compte des capacités d'actions des acteurs dont il est solidaire.

La capacité d'action évalue la situation du point de vue des objectifs propres de l'acteur, elle rend compte des résultats «bruts» des comportements des acteurs, sans tenir compte du contexte social. Or, la motivation d'un acteur possède une dimension sociale qui pèse dans son processus de décision : un acteur  $a$  positivement solidaire d'un autre acteur  $b$  cherchera à se trouver dans des situations où tous deux sont satisfaits plutôt que lui seul. Pour rendre compte du rôle des liens sociaux dans le comportement des acteurs, la satisfaction est l'indicateur qui sera utilisé pour évaluer une situation *du point de vue de l'acteur*. On l'utilise notamment lors de la simulation de la régulation des comportements (voir le chapitre cinq).

$$\begin{aligned} satisfaction(a, e) &= \sum_{b \in \mathbb{A}} solidarité(a, b) \times \left( \sum_{r \in \mathcal{R}} impact(r, b, e_r) \right) \\ &= \sum_{b \in \mathbb{A}} solidarité(a, b) \times CA(b, e) \end{aligned}$$

La part de satisfaction qui provient des relations qu'il contrôle est appelée *satisfaction autonome*.

$$satisfaction_{\text{autonome}}(a, e) = \sum_{b \in \mathbb{A}} sol(a, b) \times \sum_{r \in \mathcal{R}, a \text{ contrôle } r} impact(r, a, e_r)$$

### Pouvoir et influence d'un acteur

Le *pouvoir* qu'exerce un acteur  $a$  lorsque l'organisation est dans un état  $e$  mesure sa contribution à la capacité d'action des acteurs qui en dépendent. Il s'agit bien du pouvoir *exercé* par l'acteur et non pas du pouvoir qu'il détient : le comportement qu'adopte  $a$  dans la gestion des ressources qu'il maîtrise produit un certain impact sur les acteurs qui en dépendent et donc sur leur capacité d'action.

Avant de définir le pouvoir d'un acteur proprement dit, nous allons introduire le pouvoir qu'exerce un acteur  $a$  sur un autre acteur  $b$  : le *pouvoir relatif* de  $a$  sur  $b$ . Il s'agit de l'agrégation des impacts des relations que contrôle  $a$  sur  $b$ .

$$pouvoir_{\text{relatif}}(a, b, e) = \sum_{r \in \mathcal{R}, a \text{ contrôle } r} impact(r, b, e)$$

A l'échelle de l'ensemble des acteurs de l'organisation, le pouvoir qu'exerce un acteur  $a$  sera l'agrégation des pouvoirs relatifs qu'il exerce sur chacun<sup>9</sup> :

---

9. Cette définition inclut  $a$  lui-même dans l'ensemble des acteurs sur qui il exerce son pouvoir, car il dépend des relations qu'il contrôle. On pourra envisager de l'exclure, pour ne garder que sa contribution aux capacités des autres. Le choix est laissé au modélisateur.

$$pouvoir(a, e) = \sum_{b \in \mathbb{A}} pouvoir_{relatif}(a, b, e)$$

Considérer le pouvoir qu'exerce un acteur comme sa contribution à la capacité d'action des autres acteurs nous amène à procéder de même en tenant compte des solidarités, ce qui revient à évaluer la contribution à la satisfaction des autres. La version socio-centrée du pouvoir d'un acteur est appelée *influence*. Il s'agit cette fois de considérer l'agrégation des  $impact_s$  des relations que contrôle un acteur sur les autres acteurs.

L'influence relative de  $a$  sur un autre acteur  $b$  s'écrit :

$$influence_{relative}(a, b, e) = \sum_{r \in \mathcal{R}, a \text{ contrôle } r} impact_s(r, b, e)$$

et l'influence de  $a$  sur l'ensemble des autres acteurs :

$$influence(a, e) = \sum_{b \in \mathbb{A}} influence_{relative}(a, b, e)$$

## Indicateurs structurels

### Autonomie et dépendance d'un acteur

Bien que les acteurs d'une organisation soient en situation d'interdépendance, chacun ne dépend pas pour autant entièrement des autres : un acteur qui contrôle une relation en dépend et peut donc la mobiliser dans la poursuite de ses objectifs. Suivant l'importance des relations qu'un acteur contrôle au vu de ses objectifs, il sera en mesure d'en réaliser une certaine part indépendamment des relations qu'il ne contrôle pas. Le contrôle des relations dont il dépend procure ainsi au contrôleur une certaine *autonomie*, définie par la proportion des enjeux qu'il pose sur les relations qu'il contrôle, parmi les enjeux qu'il pose sur les relations dont il dépend (i.e. 10 si la normalisation est appliquée, cf section 4.2).

$$autonomie(a) = \frac{\sum_{r \in \mathcal{R}, a \text{ contrôle } r} enjeu(r, a)}{\sum_{r \in \mathcal{R}} enjeu(r, a)}$$

La *dépendance* d'un acteur  $a$ , se définit comme la valeur complémentaire de son autonomie : il s'agit de la part des enjeux que  $a$  pose sur les relations qu'il ne contrôle pas.

$$dependance(a) = \frac{\sum_{r \in \mathcal{R}, a \text{ ne contrôle pas } r} enjeu(r, a)}{\sum_{r \in \mathcal{R}} enjeu(r, a)}$$

### Empathie d'un acteur

Un acteur qui entretient des solidarités avec d'autres intègre la situation de ceux-ci dans l'évaluation de sa propre situation, ce qui peut le conduire à modifier son comportement en conséquence. Cela nous conduit à considérer, pour un acteur, l'importance de son engagement vis-à-vis des autres acteurs du jeu. Faute d'un terme plus approprié, nous appellerons la mesure de cet engagement *empathie*.

L'*empathie* d'un acteur  $a$  est définie par la proportion des solidarités qu'il entretient avec les autres acteurs. L'expression mathématique de l'indicateur assure que l'empathie d'un acteur égoïste ( $solidarité(a, a) = 1$ ) est égale à 0, et à 1 pour un acteur totalement altruiste ( $solidarité(a, a) = 0$ )

$$empathie(a) = \frac{\sum_{b \neq a \in \mathbb{A}} |solidarité(a, b)|}{\sum_{b \in \mathbb{A}} |solidarité(a, b)|}$$

### Pouvoir et influence structurels d'un acteur

Partant de la force des relations que contrôle un acteur, on peut en déduire le pouvoir qu'il peut exercer sur chacun de acteurs qui dépendent de ces relations. Il s'agit bien d'un pouvoir structurel, car il rend compte de l'étendue des possibilités de l'acteur d'influer sur les capacités de l'autre, et non pas du pouvoir exercé effectivement.

Le *pouvoir structurel* d'un acteur  $a$  sur un acteur  $b$  est défini comme la somme des forces individuelles des relations que  $a$  contrôle et dont  $b$  dépend.

$$pouvoir_{structurel}(a, b) = \sum_{r \in \mathcal{R}, a \text{ contrôle } r} force(r, b)$$

et l'*influence structurelle* de  $a$  sur  $b$  s'écrit :

$$influence_{structurelle}(a, b) = \sum_{r \in \mathcal{R}, a \text{ contrôle } r} force_s(r, b)$$

Le cumul des pouvoirs ou influences structurels qu'un acteur  $a$  exerce sur l'ensemble des acteurs sont alors :

$$pouvoir_{structurel \text{ globale}}(a) = \sum_{b \in \mathbb{A}, b \neq a} pouvoir_{structurel}(a, b)$$

$$influence_{structurelle \text{ globale}}(a) = \sum_{b \in \mathbb{A}, b \neq a} influence_{structurelle}(a, b)$$

D'autre part, puisqu'il s'agit d'un indicateur entre deux acteurs, on peut aussi définir leurs pouvoirs et influences l'un sur l'autre. Pour cela, nous pouvons considérer l'écart entre les pouvoirs structurels de chacun sur l'autre ; nous appelons cet indicateur l'*avantage structurel*.

$$avantage_{structurel}(a, b) = pouvoir_{structurel}(a, b) - pouvoir_{structurel}(b, a)$$

On pourrait également faire le rapport au lieu de la différence, et considérer les influences plutôt que les pouvoirs des deux acteurs.

### Capacité d'action et satisfaction structurelles d'un acteur

En agrégeant les forces des relations dont dépend un acteur, on obtient sa capacité d'action et sa satisfaction structurelles.

Ces indicateurs mesurent l'amplitude des valeurs de sa capacité d'action et de sa satisfaction, et peuvent s'interpréter comme la sensibilité de l'acteur à la dynamique des comportements des acteurs.

$$CA_{structurelle}(a) = \sum_{r \in \mathcal{R}} force(r, a)$$

$$Satisfaction_{structurelle}(a) = \sum_{r \in \mathcal{R}} force_s(r, a)$$

#### 3.4.5 L'équilibre des comportements au sein d'une dyade d'acteurs

Dans cette section, nous allons introduire des indicateurs qui analysent plus finement ce qu'il en est des « échanges de comportements » entre les acteurs dans une configuration donnée d'une organisation.

Nous reprenons le tryptique « donner, recevoir, concéder » de la théorie de l'échange pour présenter ces indicateurs [Mailliard, 2008]. Du fait de leur interdépendance, les acteurs, donnent, reçoivent et concèdent de l'accessibilité, et donc de la capacité d'action, aux autres : la capacité d'action circule dans l'organisation à travers les relations.

S'agissant d'indicateurs pour la plupart non symétriques, chacun d'eux peut donner lieu à un autre indicateur dans lequel le rôle des deux acteurs est inversé ; nous n'y insisterons pas.

## Ecart

Pour comparer la situation de deux acteurs, on peut calculer l'*écart* entre des indicateurs contextuels. L'indicateur contextuel peut être la capacité d'action, la satisfaction, le pouvoir ou l'influence des acteurs.

L'*écart* de capacité d'action (ou de satisfaction, de pouvoir, d'influence) de deux acteurs  $a$  et  $b$  est définie comme la différence, dans un état  $e$  donné, de leurs capacités d'action :

$$ecart_{CA}(a, b, e) = CA(a, e) - CA(b, e)$$

## Intensité

Pour deux acteurs  $a$  et  $b$  en relation dans l'organisation, il est intéressant d'examiner, pour une configuration donnée, l'*intensité* de leur relation. L'intensité permet de chiffrer la quantité de capacité d'action globalement mise en œuvre au sein de la dyade, par le pouvoir qu'exerce  $a$  sur  $b$  et inversement. L'intensité ne tient pas compte du signe des contributions de chacun : à la différence de l'écart de pouvoir, c'est la quantité de moyens d'action mobilisée par la dyade d'acteurs qui est évaluée, et non le bilan de la situation dans la dyade.

$$intensité(a, b, e) = |pouvoir_{relatif}(a, b, e)| + |pouvoir_{relatif}(b, a, e)|$$

De façon conjointe, on peut évaluer l'*équilibre* d'une relation en considérant cette fois la différence des valeurs absolues du pouvoir que chacun exerce sur l'autre. L'équilibre rend compte du «rapport de force» au sein de la dyade : chacun exerçant un certain pouvoir sur l'autre, la relation dyadique sera déséquilibrée si l'un mobilise une plus grande quantité de capacité d'action que l'autre. Remarquons que, du fait de la valeur absolue, ceci est valable que ce soit dans le cas d'une contribution positive et réciproque à la capacité de l'autre (chacun renforce la capacité d'action de l'autre), dans le cas d'une contribution négative et réciproque (chacun s'oppose à l'autre en diminuant sa capacité d'action) ou dans le cas d'une contribution asymétrique (l'un renforce la capacité de l'autre, tandis que l'autre la diminue).

$$équilibre(a, b, e) = |pouvoir(a, b, e)| - |pouvoir(b, a, e)|$$

## Capacité de Nash et concession

Lorsqu'un acteur  $a$  contrôle une relation  $r$ , il peut en fixer l'état, et ainsi s'attribuer l'accessibilité maximale qu'il peut en obtenir. Nous appelons *capacité de Nash* de la relation  $r$  que contrôle  $a$  la valeur de cet impact<sup>10</sup>. Il s'agit de l'impact que  $a$  reçoit lorsqu'il décide de ne pas tenir compte des autres et de jouer le jeu social selon une stratégie individualiste (voir section 3.5 pour les configurations qui correspondent à cette capacité de Nash).

$$NashCA(r, a) = \max_{e_r \in EC^r} \{impact(r, a, e_r)\}$$

La somme des capacités de Nash des relations que contrôle  $a$  est le maximum de la capacité d'action dont il est certain de pouvoir disposer.

Les interdépendances entre acteurs et la poursuite d'objectifs parfois contradictoires amènent les acteurs à ajuster leur comportement les uns par rapport aux autres, à négocier et à faire des concessions sur leur comportement, pour obtenir en retour une capacité d'action suffisante de ceux dont ils dépendent. De ce fait, un acteur  $a$  peut renoncer à s'octroyer la capacité de Nash d'une relation qu'il contrôle, pour adopter un comportement plus coopératif envers les autres. Il abandonne ainsi une part

---

10. Il s'agit d'un indicateur structurel relatif à un acteur et une relation. Nous l'introduisons ici car il intervient dans le calcul de la concession.

de sa capacité d'action au profit des autres, mais peut espérer obtenir en retour une plus grande part de capacité.

Calculer l'écart entre ce qu'un acteur est certain de pouvoir obtenir (la capacité de Nash) et le résultat effectif de son comportement revient alors à mesurer la *concession* qu'il réalise en faveur des autres.

En particulier, dans le cas d'une dyade, la *concession* que fait un acteur  $a$  à un acteur  $b$  est définie, pour un état  $e$  donné, comme la somme des différences entre la capacité de Nash et les impacts, pour toutes les relations contrôlées par  $a$  et dont  $b$  dépend. Elle mesure la quantité de capacité d'action que  $a$  abandonne au profit de  $b$  dans l'ensemble des relations qu'ils entretiennent.

$$concession(a, b, e) = \sum_{r \in R, a \text{ contrôle } r, b \text{ dépend de } r} NashCA(r, a) - impact(r, a, e_r)$$

On peut aussi définir la *concession globale* d'un acteur en considérant l'ensemble des concessions dyadiques.

$$concession_{globale}(a, e) = \sum_{r \in R, a \text{ contrôle } r} NashCA(r, a) - impact(a, r, e_r)$$

## Bienveillance

Si un acteur fait des concessions, celles-ci profitent aux autres acteurs. Ainsi, un acteur  $b$  qui dépend de  $a$  peut recevoir des relations dont il dépend des accessibilités plus élevées que les valeurs minimales des fonctions d'effet. Pour l'acteur  $b$ , l'écart entre l'impact minimum qu'il peut recevoir des relations que contrôle  $a$  (et qu'il est donc certain de recevoir), et l'impact de cette relation (ce qu'il reçoit effectivement) traduit la *bienveillance* de  $a$  à son égard.

La *bienveillance* d'un acteur  $a$  envers un acteur  $b$ , dans un état  $e$  donné, est définie comme la somme des différences entre les impacts et les impacts minimum, pour toutes les relations contrôlées par  $a$  et dont  $b$  dépend. Elle mesure le supplément de capacité d'action que  $a$  donne à  $b$  dans la relation globale qu'ils entretiennent.

$$bienveillance(a, b, e) = \sum_{r \in R, a \text{ contrôle } r, b \text{ dépend de } r} impact(b, r, e) - min_e(impact(b, r, e))$$

La figure 3.9 illustre graphiquement la concession et la bienveillance dans une dyade d'acteurs, à l'échelle d'une relation.

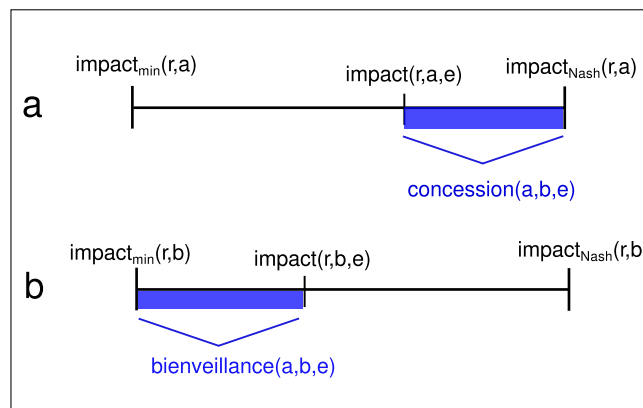


FIGURE 3.6 – Concession et bienveillance au niveau d'une relation  $r$  d'une dyade d'acteurs.  $a$  contrôle la relation  $r$ ,  $b$  en dépend.

## Bénéfice transactionnel

Considérons maintenant une dyade d'acteurs  $a$  et  $b$ , au sein de laquelle  $a$  contrôle au moins une relation  $r_1$  dont dépend  $b$ , et  $b$  contrôle au moins une relation  $r_2$  dont dépend  $a$ . Sachant que chacun est susceptible de faire des concessions en faveur de l'autre, il est pertinent d'évaluer l'intérêt stratégique de la concession, c'est à dire de mesurer ce qu'un acteur peut gagner à concéder de la capacité d'action à l'autre.

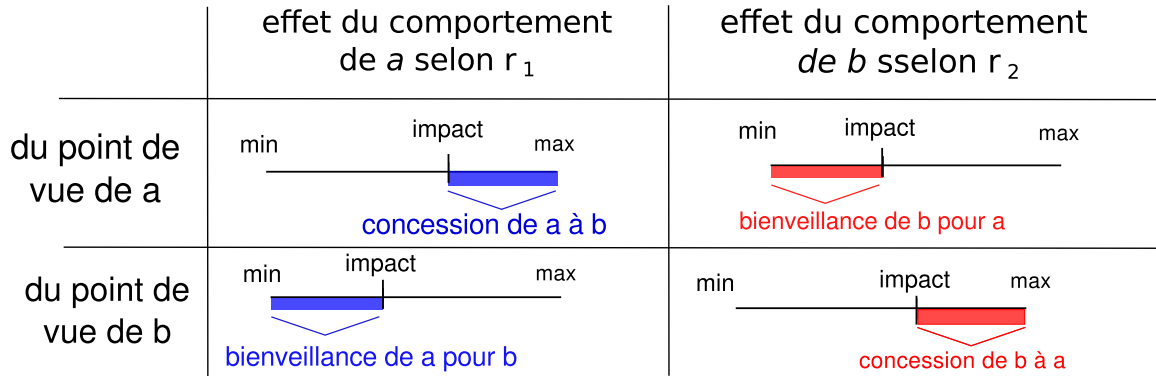


FIGURE 3.7 – Concession et bienveillance réciproques de deux acteurs

Dans la dyade, chacun reçoit de l'autre une certaine quantité de capacité d'action : du point de vue de l'acteur qui dépend de la relation, il s'agit de bienveillance, et du point de vue du contrôleur de la relation, il s'agit de concession. Tout l'intérêt pour un acteur de jouer la concession réside dans la possibilité d'obtenir de la part de l'autre plus de bienveillance que ce qu'il abandonne en concession. Nous appelons le bénéfice qu'un acteur retire à concéder de la capacité d'action le *bénéfice transactionnel*. La figure 3.7 représente schématiquement les constituants de cet indicateur du point de vue de chaque acteur de la dyade.

Le *bénéfice transactionnel* d'un acteur  $a$  sur un acteur  $b$  dans un état  $e$  donné est défini comme la différence entre la bienveillance de  $b$  à l'égard de  $a$  et la concession que fait  $a$  à  $b$ . Il décrit le résultat du comportement de  $a$  vis-à-vis de  $b$ .

$$avantage\ transactionnel(a, b, e) = bienveillance(b, a, e) - concession(a, b, e)$$

Cet indicateur réalise une analyse coûts-bénéfices, aux yeux de  $a$ , sur la transaction de capacité d'action qui s'opère dans la dyade d'acteurs. On pourrait faire de même en considérant non plus des transactions de capacité d'action mais de pouvoir.

En considérant d'autre part l'écart entre l'avantage transactionnel de  $a$  sur  $b$  et l'avantage transactionnel de  $b$  sur  $a$ , nous obtenons une mesure de la viabilité de la stratégie de concession : en cas d'écart trop important, un des acteurs est lésé et n'a plus forcément intérêt à faire de concessions.

Cet écart, que nous appelons la *résultante transactionnelle*, détermine également l'acteur qui a le plus intérêt à maintenir cette situation.

La *résultante transactionnelle* de deux acteurs  $a$  et  $b$  dans un état  $e$  donné, est définie comme la différence entre l'avantage transactionnel de  $a$  sur  $b$  et l'avantage transactionnel de  $b$  sur  $a$ .

$$résultante\ transactionnelle(a, b, e) = avantage\ transactionnel(a, b, e) - avantage\ transactionnel(b, a, e)$$

Bien que les notions de la théorie de l'échange traduites dans les termes du méta-modèle permettent une caractérisation fine des échanges de capacité et de l'utilisation stratégique du pouvoir à l'échelle d'une dyade, le pouvoir, son utilisation et ses effets ne se réduisent pas à un ensemble d'indicateurs dyadiques qui mesurent l'influence d'un acteur sur chacun des autres. [Mailliard, 2010] propose des extensions aux indicateurs que nous venons de développer, qui dépassent le caractère dyadique de la définition que nous en donnons.



### 3.4.6 Indicateurs relatifs à l'organisation

Afin de caractériser une organisation, on peut considérer des indicateurs globaux qui sont l'agrégation des indicateurs relatifs aux acteurs.

Concernant les indicateurs qui tiennent compte des solidarités, ils ont du sens lorsqu'on s'intéresse à un acteur puisqu'elles interviennent dans son appréciation d'une situation ; par contre, ils n'ont guère de sens du point de vue de l'organisation dans son ensemble. Il ne semble donc pas utile de considérer la satisfaction globale d'une organisation, ni son influence.

Il en est de même pour les indicateurs relatifs aux relations. Une relation est l'instrument du pouvoir aux mains de l'acteur qui la contrôle et il est intéressant de s'intéresser à l'usage qu'il en fait. Par contre, on voit mal l'interprétation sociologique de l'agrégation d'un indicateur sur l'ensemble des relations.

Du fait de l'interdépendance des acteurs pour l'accès aux ressources nécessaires à leurs objectifs, un bon niveau global de capacité d'action signifie que chacun se comporte de façon à ce que les autres disposent des moyens d'atteindre leurs objectifs : les acteurs coopèrent. Nous évaluerons donc l'efficacité de la coopération d'une organisation en agrégeant les valeurs de capacité d'action de chaque acteur.

$$CA_{globale}(e) = \sum_{a \in \mathbb{A}} CA(a, e)$$

Au sein d'une organisation, la capacité d'action que reçoit un acteur  $a$  provient soit des relations qu'il contrôle, soit des autres acteurs qui, en exerçant leur pouvoir, contribuent à sa capacité. La circulation de capacité d'action se fait en vase clos, et sans perte : le pouvoir qu'exerce un acteur sur les autres est intégralement reçu par ceux-ci. Ainsi, à l'échelle de l'organisation, la capacité d'action globale (tout ce qui est reçu dans le jeu) est égale au pouvoir global (tout ce qui est donné dans le jeu).

Pour tout état  $e$  de l'organisation,

$$\begin{aligned} \sum_{a \in \mathbb{A}} \sum_{r \in \mathcal{R}} impact(a, r, e) &= \sum_{a \in \mathbb{A}} \left( \sum_{b \in \mathbb{A}} \left( \sum_{r \in \mathcal{R}, a \text{ contrôle } r} impact(b, r, e) \right) \right) \\ \sum_{a \in \mathbb{A}} CA(a, e) &= \sum_{a \in \mathbb{A}} pouvoir(a, e) \\ CA_{globale}(e) &= Pouvoir_{global}(e) \end{aligned}$$

Enfin, un indicateur structurel rend compte du *bénéfice à coopérer* que procure la structure de l'organisation. Il s'agit de l'écart entre la capacité d'action globale maximale et minimale. Plus celui-ci est important, plus les modes de fonctionnement possibles de l'organisation sont de qualité différenciée. A l'inverse, une organisation dont le bénéfice à coopérer serait faible indique qu'il y a peu de différence entre le pire mode de fonctionnement et le meilleur pour l'organisation.

$$Bénéfice = \max_{e \in EC^m} CA_{globale}(e) - \min_{e' \in EC^m} CA_{globale}(e')$$

Une version alternative de cet indicateur consisterait à considérer l'écart entre la capacité d'action globale obtenu dans l'état neutre et la capacité d'action globale maximale ou minimale.

## 3.5 Les configurations remarquables d'une organisation

Le terme *d'état* d'une organisation n'est pas très parlant pour le sociologue, pour lequel le terme de *configuration* est beaucoup plus évocateur ; c'est donc ainsi que nous désignerons dorénavant l'état d'une organisation. A chaque configuration correspond une *situation*, qui est constituée de l'agrégation des impacts que reçoit chaque acteur des relations dont il dépend. Suivant l'indicateur choisi, une situation peut être considérée du point de vue de la capacité d'action, de la satisfaction, du pouvoir ou

de l'influence qui en résulte.

Lorsqu'on considère un indicateur contextuel qui évalue une certaine configuration, il est intéressant de le comparer avec la valeur qu'il peut prendre dans certaines configurations remarquables, qui vérifient certaines propriétés. Il est aussi possible de caractériser la structure de l'organisation en considérant ces propriétés, et de détecter certains conflits structurels, ou dysfonctionnements, dûs à la structure de l'organisation (cf section 3.6).

Parmi ces configurations remarquables, nous retenons celles qui maximisent (ou minimisent) un indicateur contextuel, celles qui correspondent à un équilibre de Nash. D'autres configurations remarquables sont celles dans lesquelles les écarts de capacités d'action (respectivement de satisfaction, pouvoir, influence) des acteurs sont minimisés (ou maximisés); on parlera alors de configurations « égalitaires » (ou anti-égalitaires). Enfin, on pourra également considérer les configurations dites « élitistes » (ou anti-élitistes); celles dans lesquelles la plus élevée des capacités (resp. satisfaction, pouvoir, influence) des acteurs est maximisée (ou minimisée), ou encore les configurations « solidaires » dans lesquelles la plus faible des capacités (resp. satisfactions, pouvoirs, influences) des acteurs est maximale.

### Configurations de satisfaction maximale/minimale d'un acteur

La *configuration de satisfaction maximale* pour un acteur  $a$  est l'état du jeu qui maximise sa satisfaction.

$$e_{Satis\ max(a)} = argmax_{e \in EC^m} (Satis(a, e))$$

Si la structure de l'organisation n'est pas triviale (c'est-à-dire qu'il existe des conflits selon certaines des relations pour chaque dyade d'acteurs), cette configuration est propre à chaque acteur. On considère de la même manière les configurations qui minimisent la satisfaction de chacun des acteurs. On considère également les configurations qui maximisent/minimisent la capacité d'action, le pouvoir ou l'influence de l'acteur. Notons qu'en fonction de la structure de l'organisation, les configurations remarquables peuvent être multiples, plusieurs états distincts pouvant donner lieu aux mêmes valeurs d'un indicateur. Concernant les configurations maximales, au moins l'une d'elles constitue un optimum de Pareto.

### Configuration de capacité d'action globale maximale

L'*état de capacité d'action globale maximale* est l'état dans lequel la somme des satisfactions individuelles des acteurs d'une organisation est maximale.

$$e_{CA_{globale\ max}} = argmax_{e \in EC^m} (CA_{globale}(a, e))$$

Cet état correspond à un optimum de Pareto : augmenter la capacité d'un des acteurs reviendrait à diminuer la capacité d'action d'un autre. Il serait tentant de considérer cette configuration comme étant la configuration optimale du système, mais l'utilisation de la somme algébrique comme opérateur d'agrégation introduit certains biais. Par exemple, la valeur maximale de capacité d'action globale peut être atteinte dans des configurations où quelques acteurs disposent d'un niveau très élevé de capacité, tandis que d'autres disposent d'une capacité très faible : ces configurations ne sont pas forcément celles dans lesquelles l'organisation fonctionne de façon optimale (on pourra également se référer aux pages 64 et 65 de [Mailliard, 2008] pour un rapprochement avec la théorie du choix social). Nous retrouvons ici le problème de la construction d'opérateurs d'agrégation pertinents déjà évoqué section ??

### Configuration(s) de Nash

La capacité d'action d'un acteur provient des (impacts des) relations dont il dépend. Elle peut donc avoir deux origines : les relations que lui-même contrôle, et les relations que les autres acteurs contrôlent. Le niveau de capacité qu'un acteur perçoit résulte donc de deux stratégies pour fixer l'état des relations : la sienne et celles des autres.

Un acteur qui veut maximiser sa capacité d'action indépendamment des stratégies que les autres pourraient mettre en œuvre fera donc le choix de maximiser la capacité qu'il est certain de recevoir : celle qui provient des relations qu'il contrôle.

Si tous les acteurs décident de se comporter ainsi, le jeu atteint un équilibre de Nash. Nous appellerons donc la ou les configurations dans laquelle chaque acteur maximise les impacts des relations qu'il contrôle, la *configuration de Nash*.

$$e_{Nash} = \operatorname{argmax}_{e \in EC^m} \left( \sum_{r \in \mathcal{R}, a \text{ contrôle } r} \operatorname{impact}(r, a, e_r) \right)$$

### Configurations égalitaires

Selon la structure de l'organisation, les valeurs de satisfaction qu'obtiennent les acteurs dans une certaine configuration peuvent être plus ou moins dispersées.

Il est raisonnable de supposer que les acteurs d'une organisation sont sensibles l'équité de leur capacité d'action, ou satisfaction, car les inégalités sont un des facteurs qui provoquent l'instabilité de l'action collective. Un écart trop important entre les satisfactions des acteurs peut s'interpréter comme une distribution injuste de l'accès aux ressources de l'organisation. A l'inverse, une configuration qui procure aux acteurs une satisfaction d'un bon niveau et de façon relativement homogène a toutes les chances de perdurer, personne ne se sentant particulièrement lésé par rapport aux autres. L'équité des satisfactions pourrait donc s'interpréter comme un des indicateurs de la «paix sociale» de l'organisation.

De telles configurations seront qualifiées d'égalitaires (ou anti-égalitaires) selon qu'elles minimisent (ou maximisent) l'écart entre les satisfactions des acteurs.

$$e_{\text{égalitaire}} = \operatorname{argmin}_{e \in EC^m} \left( \sum_{a, b \in \mathbb{A}, a \neq b} \operatorname{satisfaction}(a, e) - \operatorname{satisfaction}(b, e) \right)$$

De façon alternative, on peut considérer les configuration qui minimisent l'*écart type* des satisfactions.

$$e_{\text{égalitaire}} = \operatorname{argmin}_{e \in EC^m} \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{a \in \mathbb{A}} (\operatorname{satisfaction}(a, e) - \operatorname{satisfaction})^2}$$

### Configurations élitistes

Mentionnons enfin une autre catégorie de configurations dont les propriétés tiennent à la disparité des satisfactions : celle des configuration élitistes ou anti-élitistes. Une configuration élitiste (respectivement anti-élitiste) est une configuration dans laquelle est maximisée (resp. minimisée) la satisfaction du plus satisfait des acteurs.

$$e_{\text{anti-élitiste}} = \operatorname{argmin}_{e \in EC^m, a \in \mathbb{A}} (\operatorname{Satisfaction}(a, e_{\text{Satis max}(a)}))$$

$$e_{\text{élitiste}} = \operatorname{argmax}_{e \in EC^m, a \in \mathbb{A}} (\operatorname{Satisfaction}(a, e))$$

## 3.6 L'étude analytique d'un modèle d'organisation

Nous verrons au chapitre 5 comment la simulation permet de calculer les configurations dans lesquelles il est plausible qu'une organisation se régle, et donc les comportements que chacun des acteurs est susceptible d'adopter. L'interprétation de ces résultats, leur pleine signification, ne peut être faite sans les positionner dans l'espaces de toutes les configurations possibles déterminé par la structure de l'organisation, et notamment en les comparant avec les configurations remarquables. Ces comparaisons pourront être faites en comparant les valeurs des indicateurs situés dans différentes

configurations. Ces comparaisons pourront aussi faire intervenir la proximité ou l'éloignement entre configurations, en munissant l'espace des configurations d'une distance euclidienne, la dimension selon chacune des relations étant éventuellement pondérée par la pertinence de la relation. Par ailleurs, les caractéristiques de chaque configuration pourront être étudiées en comparant les valeurs des indicateurs sur l'ensemble des acteurs ou l'ensemble des relations. Il ne nous appartient pas de définir une démarche pour l'étude analytique d'une organisation, à supposer que ce soit possible compte tenu de la disparités des questions que l'analyste peut être amené à se poser. Nous nous contentons uniquement d'en donner quelques éléments.

### 3.6.1 Classement des acteurs selon les indicateurs structurels

Les indicateurs structurels relatifs aux acteurs, puisqu'ils représentent à la fois l'étendue de ce que la structure de l'organisation autorise potentiellement et leur position relative dans l'organisation, permettent d'établir des classements entre les acteurs. Cela revient à faire l'inventaire des moyens mis à leur disposition par l'organisation et à déterminer ceux qui seraient structurellement avantagés par leur position au sein de l'organisation.

On peut classer les acteurs suivant leur *autonomie*. En lui-même, ce classement n'est pas très informatif : il permet juste de déterminer les acteurs qui sont les plus dépendants des autres dans la poursuite de leurs objectifs. Mais si on le compare avec le classement des acteurs selon les *capacités d'actions autonomes* obtenues à l'issue d'une expérience de simulation, on peut déterminer si cette dépendance est effective, c'est-à-dire si la majeure partie de la capacité d'action qu'ils obtiennent provient des autres, ou au contraire, s'ils ont pu équilibrer cette dépendance par leur autonomie.

On peut également établir le classement des acteurs suivant leur *pouvoir structurel* (ou leur influence structurelle). Ce classement nous indique qui dispose des moyens d'action les plus importants pour influencer le comportement des autres, ceux qui bénéficient d'un avantage structurel par le contrôle de relations cruciales aux yeux des autres, et dont le comportement a le plus d'impact. La comparaison avec le classement selon le pouvoir dans les configurations résultant des simulations permet de déterminer si les acteurs sont parvenus ou non à faire usage de ce pouvoir structurel dont ils disposent. La structure peut être telle que les acteurs désavantagés par leur position structurelle ne pourront que subir le comportement des autres, ou au contraire pourra leur laisser la possibilité, par l'exercice stratégique de leur pouvoir, de renverser le classement établi par les indicateurs structurels.

Dans les deux cas, la comparaison entre ce qu'indique les indicateurs structurels (qui est de l'ordre du potentiel) et le résultat des simulations (qui est actualisé), permet d'estimer dans quelle mesure l'organisation est régulée ou, en terme de système, déterministe.

### 3.6.2 Détection de propriétés structurelles à l'aide d'indicateurs contextuels

Calculer les satisfactions obtenues par les acteurs dans une certaine configuration donne des indications sur la faisabilité sociale des situations, et donc sur les façons dont l'organisation pourrait fonctionner. Partant du principe qu'un acteur, s'il a la possibilité de réagir, n'acceptera pas une configuration trop pénalisante pour lui, toutes les configurations définies par la structure de l'organisation ne sont pas socialement vraisemblables. A défaut de trouver ces configurations faisables, l'étude analytique *a priori* peut d'ores et déjà écarter celles dont on peut penser qu'elles seront refusées par les acteurs de l'organisation, et révéler certains dysfonctionnements ou conflits dûs à la structure de l'organisation.

Au niveau de l'organisation dans son ensemble, on peut considérer les *configurations de capacité d'action globale maximale* et calculer la satisfaction des acteurs dans ces configurations, que nous avons interprétés comme celles de meilleure coopération. Dans ces configurations, qui correspondent à des optima de Pareto, l'écart entre les satisfaction révèle quels sont les acteurs qui ont le moins intérêt à coopérer. En particulier, si un acteur est systématiquement défavorisé dans les configurations de bonne

coopération, on pourra en déduire une certaine divergence entre ses intérêts et ceux de l'organisation. D'autre part, on pourra aussi déterminer parmi ces configurations celle qui est la plus *égalitaire*, la plus solidaire ou la plus *anti-élitiste*. Les satisfactions correspondantes nous donneront une indication sur la viabilité de la coopération dans l'organisation.

A l'inverse, on peut considérer les *configurations de Nash*, pour déterminer ce qui se produit si chacun décide de se comporter de façon individualiste, sans tenir compte du comportement des autres, sans volonté de coopérer. Les satisfactions obtenues dans ces configurations permettent d'évaluer si les acteurs peuvent se passer des autres dans la poursuite de leurs objectifs, ou si la structure de l'organisation leur impose de coopérer.

Au niveau de chaque acteur en particulier, les *configurations de satisfaction maximale* correspondent à la situation idéale pour lui. Il s'agit alors de calculer les satisfactions que les autres obtiendraient dans ces configurations pour avoir une idée de la convergence ou de la divergence de leurs intérêts, et donc à des possibles alliances ou conflits. Notamment, on pourra mettre en évidence les *conflits structurels* entre acteurs dont les fonctions de satisfaction sont opposées l'une de l'autre.

L'analyse *a priori* de l'organisation permet donc d'esquisser les contours de certaines propriétés structurelles : la viabilité, la nécessité de la coopération pour l'ensemble des acteurs, et au cas par cas, les conflits ou alliances qui peuvent se former entre les acteurs.

### 3.6.3 Exploration interactive de l'espace des configurations d'une organisation

L'environnement de modélisation et de simulation SocLab permet entre autres d'explorer de façon interactive l'espace des configuration d'un modèle d'organisation, ce qui facilite grandement l'étude analytique d'un modèle d'organisation [Roggero and Sibertin-Blanc, 2008]. Pour toute configuration, les scores de capacité d'action, de satisfaction, de pouvoir et d'influence sont calculés pour chaque acteur, en valeur et en proportion de leur valeur maximale.

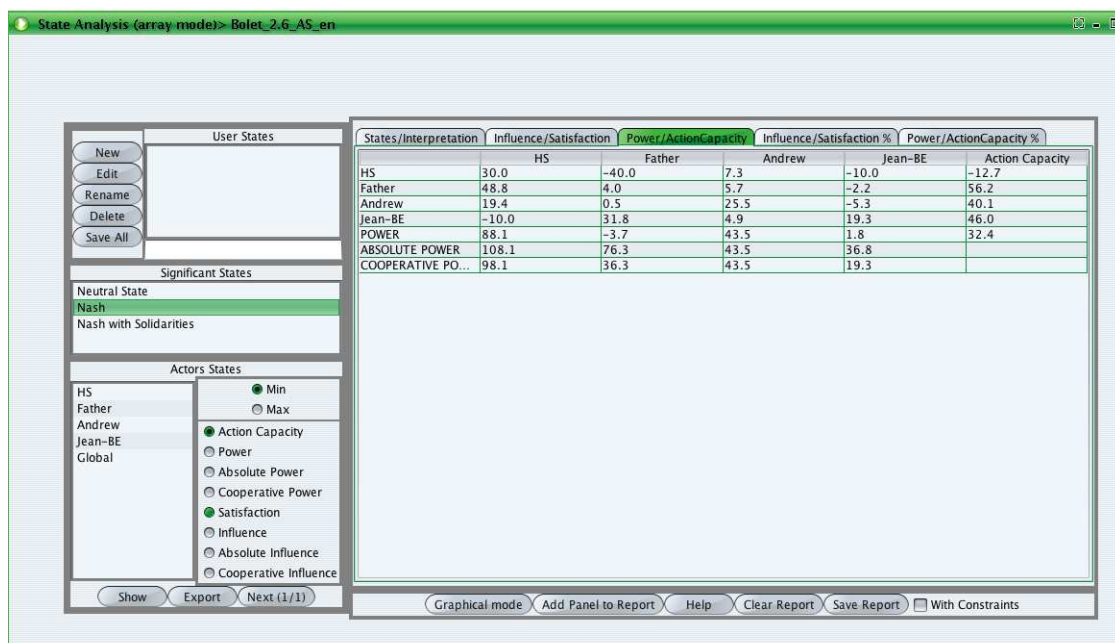


FIGURE 3.8 – Tableau des pouvoirs et satisfactions des acteurs d'un modèle d'organisation, calculés dans une configuration donnée en valeur et en proportion.

Une interface graphique permet de modifier les valeurs des états des relations pour en constater l'effet, de sélectionner des configurations remarquables et de visualiser sous forme d'histogrammes la

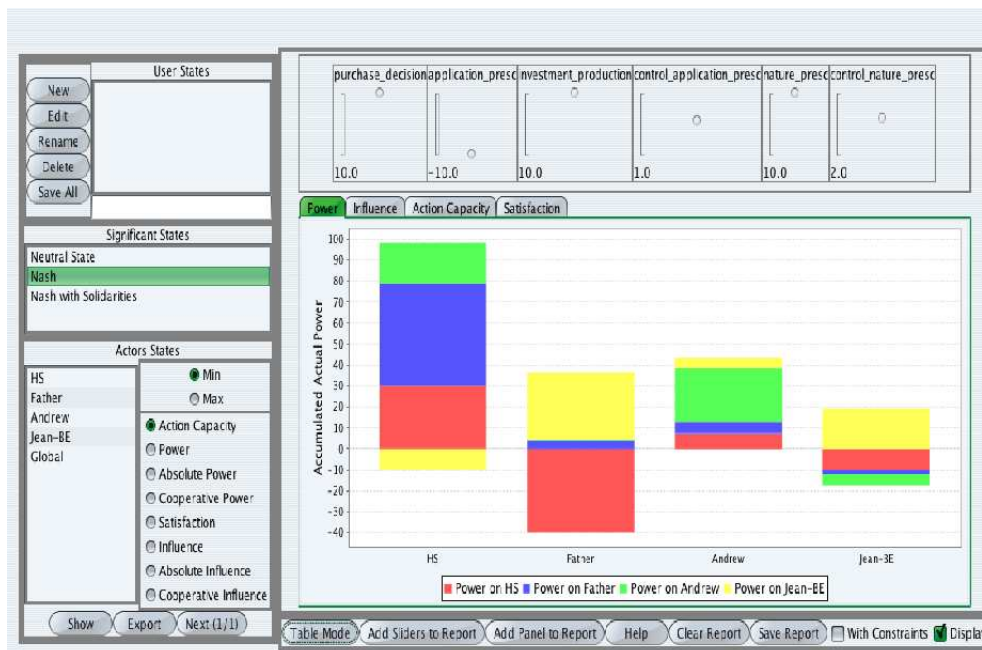


FIGURE 3.9 – Représentation en histogrammes des parts d’impacts du pouvoir des acteurs d’un modèle d’organisation.

part d’impact des différentes relations dans la valeur de capacité d’action, satisfaction, pouvoir ou influence des acteurs.

## Chapitre 4

# Exemple de modélisation d'une organisation réelle : le cas Plan International

### Table des matières

<b>4.1</b>	<b>Présentation de l'ONG <i>Plan International</i></b>	<b>76</b>
4.1.1	Historique de Plan International	76
4.1.2	Première analyse : de l'Assistancialisme à l'Empowerment	80
<b>4.2</b>	<b>Modélisation de la structure de l'organisation</b>	<b>82</b>
4.2.1	Contexte historique : de 1981 à 1985	82
4.2.2	Modèle 1 : la période 1986-1988	83
4.2.3	Modèle 2 : 1989	90
<b>4.3</b>	<b>La rupture et la réorganisation : analyse de la période 1990-1994</b>	<b>92</b>

Ce chapitre présente la modélisation d’une organisation réelle, Plan International, organisation non-gouvernementale implantée en Bolivie. La modélisation s’inspire du travail réalisé par Luis Felipe Sánchez Arias dans son mémoire de Master 2 de sociologie [Sanchez-Arias, 2011], basé sur les travaux de Solarte qui documentent assez précisément l’évolution de cette organisation [Pazos, 2011]. Le mémoire s’intéresse à l’évolution de Plan International de 1986 à 1994, et propose trois modèles de sa structure, chacun correspondant à une période bien identifiée de la vie de l’organisation. Sur la base de ces trois modèles, dont nous ne retiendrons que les deux premiers, nous pouvons examiner le déroulement de l’évolution structurelle de cette organisation, et tenter d’en cerner les origines et les conséquences.

Dans ce chapitre, dont l’objectif principal est d’illustrer le méta-modèle présenté dans le chapitre précédent, nous ne présentons ces modèles et leur contexte, nous nous pencherons sur son évolution dans la section sept du chapitre sept.

## 4.1 Présentation de l’ONG *Plan International*

Plan International est une organisation non-gouvernementale d’aide au développement. Elle élabore et met en place des projets de construction d’habitations, d’infrastructures sanitaires, de santé et d’éducation pour des groupes familiaux dans une quarantaine de pays. L’organisation est dirigée par une assemblée de donateurs, qui en nomme le directeur général et qui se charge de définir le mode de gouvernance appliqué. Plan International adoptait depuis sa création un modèle *assistancialiste*, qui consiste pour les ONG à apporter de l’aide essentiellement matérielle, sans se pré-occuper de l’autonomisation des communautés bénéficiaires. Au début de la période que nous étudions, un nouveau modèle d’aide au développement émerge et se voit adopté par les agences locales de Plan International : l’*empowerment*, qui implique directement les communautés bénéficiaires dans les projets d’aide au développement, avec l’objectif de les rendre autonomes à terme. La thèse de Solarte s’intéresse également à un troisième modèle de gouvernance, l’*accountability*. L’«*accountability*» est un modèle de gouvernance qui vise à rendre l’activité d’une ONG *transparente* et *responsable*.

Solarte s’intéresse plus particulièrement au dilemme auquel sont confrontées les ONG travaillant dans le domaine de l’aide aux pays en développement : comment faire concorder les intérêts des donateurs qui financent les organisations et ceux des communautés qui sont aidées, face aux tensions et contradictions issues de l’application simultanée de deux stratégies, l’*empowerment* et l’*accountability*. [Pazos, 2011] relate l’adoption de trois modèles de gouvernance successifs au sein de Plan International : assistancialisme, puis accountability et enfin empowerment et accountability conjointement. L’auteur était aux premières loges des modifications structurelles et de pratiques de Plan International que ces changements ont provoquées : il était employé de l’organisation dans le bureau régional d’Amérique du sud, à un poste situé entre le directeur de ce bureau et les agences de terrain.

### 4.1.1 Historique de Plan International

Sous la direction du Directeur Général (DG), le Siège International définit la stratégie de l’organisation dans le monde, notamment en ce qui concerne sa croissance et son expansion, et est responsable des opérations entreprises par les agences locales de Plan International. Pour faire face aux problèmes posés par son propre développement, Plan International a dû faire un gros effort d’adaptation vers la décentralisation entre les années 1980 et 2000.

#### Les années 70 et 80

Au début des années 1970, les ressources financières de l’organisation sont abondantes, et le contrôle de la gestion des opérations est faible. L’organisation évalue très peu l’efficacité de son activité, et laisse le développement des projets se faire de lui même. Les interventions sont évaluées au cas par cas, sans méthodologie normalisée pour en comparer l’efficacité. Les intervenants de terrain sont peu contrôlés par les dirigeants de Plan International ; et bénéficient d’une grande autonomie. Concrètement, les «promoteurs sociaux» (les agents de terrain de Plan International) gèrent chacun leurs groupes familiaux de façon spécifique, en laissant émerger une dynamique naturelle de développement, propre



à la communauté dans laquelle ils interviennent, sans planification ni obligations de résultats. Le modèle selon lequel les interventions sont menées est celui d'un «processus d'insertion lent, en assurant soigneusement l'établissement des relations avec les communautés réceptrices, tout en garantissant une croissance lente, mais solide» [Pazos, 2011]. Les relations hiérarchiques au sein de Plan international sont organisées comme montré sur la Figure 1.

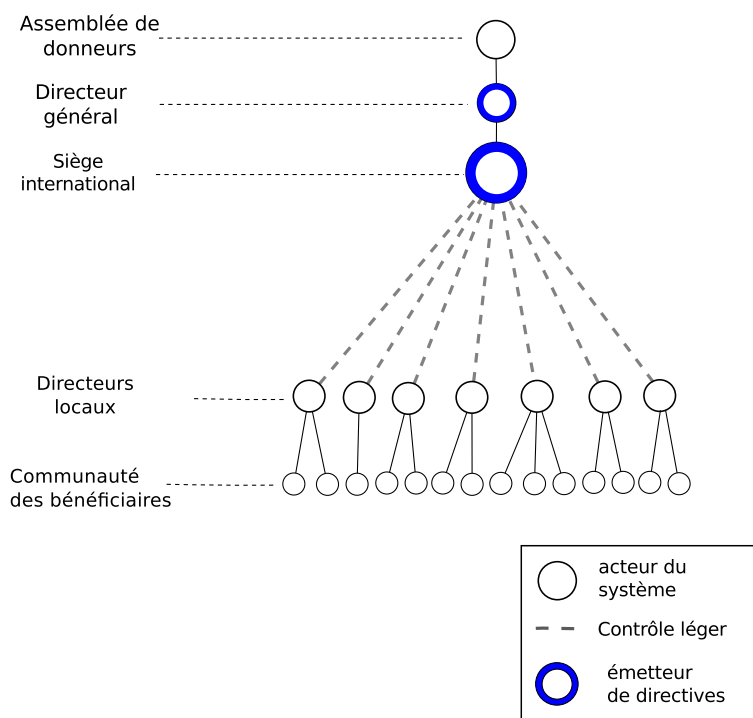


FIGURE 4.1 – Schéma de la structure de Plan International dans les années 1970

### Fin des années 80 : la décentralisation

A la fin des années 80, Plan International vit une forte croissance. Ses ressources financières, provenant des dons, quadruplent en moins de dix ans (50 millions de dollars en 1987, plus de 100 millions en 1990 et plus de 200 millions en 1995). L'organisation agrandit également sa zone d'intervention géographique et étoffe sa gamme de programmes d'activités. Devant cette croissance et le besoin croissant de transparence de l'activité de Plan International, le comité de direction (le DG et le Siège International) constate que le modèle traditionnel de fonctionnement ne peut plus perdurer, il devient impossible de continuer à coordonner les actions sur le terrain sans adapter le mode de fonctionnement de l'organisation. Le comité de direction décide donc d'adopter une posture plus managériale et d'initier un processus de décentralisation de la structure de gestion de l'organisation : la SCAM (Stratégie de Croissance Assistancialiste et Managerialiste). [Pazos, 2011] note que d'autres phénomènes externes participent à cette volonté de changement : essor des ONG sur la scène internationale, qui s'accompagne d'une augmentation de la concurrence pour les ressources issues des donateurs, crise de l'état providence et apparition des politiques néo-libérales. On attend désormais des ONG qu'elles soient responsables, efficaces et transparentes (ce que résume le concept d'*accountability*) .

L'assemblée des Donneurs, qui est l'équivalent des actionnaires de Plan International, nomme un nouveau Président Directeur Général (issu du secteur pétrolier privé) dont la mission consiste entre autres à opérer le changement organisationnel vers la décentralisation, et à assurer l'utilisation efficace des ressources financières de l'organisation : il doit mettre en œuvre la SCAM. Des Bureaux Régionaux sont créés, avec pour mission la gestion des stratégies d'intervention au niveau local, l'audit et l'orientation des futurs projets d'assistance (missions qui étaient auparavant du ressort du Siège International). Il s'agit d'un nouveau niveau hiérarchique, entre le comité de direction de Plan International et les agences locales. La création de ces bureaux régionaux libère le Siège International de la gestion des interventions locales. L'intention du DG était de libérer le Siège International de cette

responsabilité pour l'affecter à la coordination internationale des activités de l'organisation, et aux activités de communication avec l'environnement de Plan International comme des agences mondiales, les gouvernement des pays où Plan International intervient, ou d'autres ONGs .

Globalement, le passage à la décentralisation combiné à l'application de la SCAM constitue une rupture avec le mode de fonctionnement traditionnel, qui va impliquer des modifications structurelles importantes, notamment en termes de répartition des ressources. Selon cette nouvelle répartition des tâches, les relations hiérarchiques au sein de Plan international sont organisées comme montré sur la Figure 2. Cependant, le siège, devant la perte de contrôle des opérations de terrain, cherchera au contraire à conserver sa position et à renforcer ses mécanismes de contrôle.

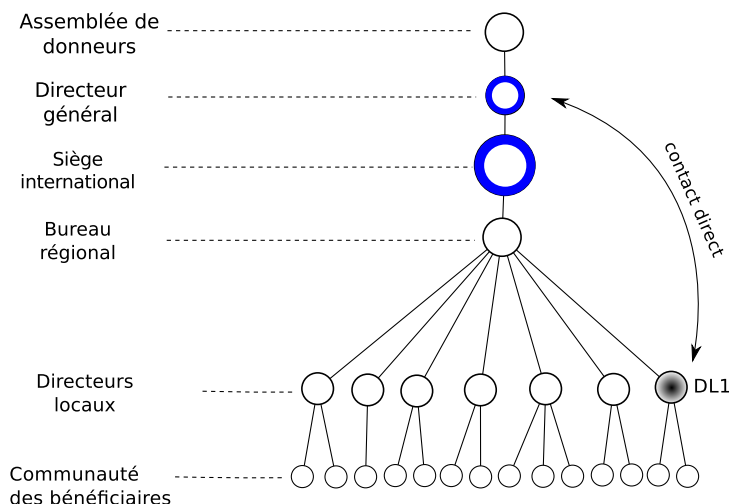


FIGURE 4.2 – Schéma de la structure de Plan International de 1986 à 1989

### Le projet de Croissance Urbaine Rapide, (CUR) en 1989

En 1989, le nouveau DG voit d'une part les ressources financières s'accumuler, à l'issue de campagnes massive de collecte de fonds et du fait de l'extension de Plan International à d'autres pays donateurs ; d'autre part apparaître de nouvelles ressources, des agences dites «multilatérales»<sup>1</sup> qui recherchent les prestations d'organisations internationales expérimentées dans les programmes d'opérations pour le développement.

Devant cette nouvelle demande et ces moyens financiers abondants, la SCAM est d'autant plus d'actualité. Le DG cherche à augmenter rapidement le nombre de groupes familiaux parrainés par Plan International et à développer sa politique managériale avec un contrôle plus étroit des interventions et leur évaluation. Suivant la tendance de toutes les ONG à converger vers l'adoption d'une *démarche qualité* similaire à celle du monde de l'industrie, le Siège International commence à vouloir imposer les mécanismes de contrôle nécessaires. Avant d'étendre cette politique à l'ensemble des agences de Plan International, le DG décide de réaliser une preuve de concept avec l'agence de Cali, qui sera répliquée au niveau mondial : c'est le projet de Croissance Urbaine Rapide. Nous nous intéressons plus particulièrement à une opération de parrainage d'enfants dans la ville de Cali, initiée en 1971. L'agence de Cali est le plus gros bureau de Plan International, et son cas est représentatif des logiques d'action d'un grand nombre d'ONG.

Le DG confie donc au Directeur Local de l'agence de Cali, reconnu pour sa compétence en administration, la mission de parvenir à affilier 20000 famille en huit mois, tout en maintenant les services d'assistance en échange de nouvelles affiliations. Dans le cadre du «Plan Cali», cette agence se voit dotée de moyens importants : création de sous-bureaux de l'agence principale, recrutements de personnel (environ 200 recrutements), création de services généraux pour la gestion des équipements. L'investissement est tel qu'à la fin de ce projet, Plan Cali est devenu la principale agence de développement

1. Ce sont souvent des banques de développement. Ce sont «des institutions qui fournissent un appui financier et des conseils sur des activités de développement économique et social aux pays en développement» (source : <http://www.banquemonddiale.org>). L'UNICEF et la Croix Rouge sont des exemples de telles agences.

de la ville, et l'un des plus grands bureaux de Plan International dans le monde. A titre d'exemple, le budget annuel d'investissement de Plan Cali pour les projets sociaux est de 5 millions de dollars.

Durant cette période, les Bureaux Régionaux cherchent à s'affranchir un peu plus du contrôle du Siège International. Ils effectuent déjà les audits et les processus d'évaluations des interventions de façon autonome, mais voudraient aussi pouvoir contrôler l'orientation politique de ces interventions, qui est décrétée par le Siège International. Les bureaux régionaux acquièrent peu à peu le pouvoir nécessaire pour s'opposer aux décisions du comité de direction, notamment en centralisant les critiques émises par les directeurs locaux à propos de la politique de contrôle et de croissance qu'ils jugent inadaptée.

### **Conflit et rupture vers l'empowerment, 1990-1994**

La mise en place des bureaux régionaux a entraîné une fragmentation de l'organisation et l'apparition de tensions entre les bureaux régionaux et le comité de direction de Plan International.

L'autonomie des bureaux régionaux et le contrôle (légitime) qu'ils exercent sur les agences locales leur permettent de substituer leur propres directives à celles qui émanent du comité de direction. Le seul bureau local à défendre les choix de l'organisation est celui de Cali, par l'intermédiaire de son directeur, acquis à la cause de la direction générale. Il se produit une sorte de «spécialisation régionale» : une multitude de pratiques, de directives et de méthodes d'évaluation des actions des agences locales émergent des bureaux régionaux, souvent contradictoires avec les instructions qui proviennent du comité de direction.

Pour faire face à cette fragmentation, le comité de direction va déployer un effort important pour intégrer et standardiser ces pratiques régionales. Cela se traduit par exemple par la difficile mise en place d'un système d'information dédié à la planification et à l'évaluation des opérations locales (le FOES pour Field Operation Evaluation System), destiné à permettre au comité de direction de maintenir un certain contrôle sur les opérations. Conçu pour répondre aux besoins du comité de direction, son déploiement est un échec : le système ne peut pas se plier à la variété des contextes des opérations entreprises par les agences locales. Les bureaux régionaux, constatant l'écart entre ce que le système préconise et la réalité de leurs opérations, développent leur propres systèmes, qu'ils utilisent parallèlement.

Les tensions entre les bureaux régionaux et le comité de direction sont au plus haut de 1990 à 1992. En 1993, le DG décide de démissionner. Cette démission est due à deux facteurs. En premier lieu, le DG était au cœur des tensions entre le comité de direction et les bureaux régionaux, et ne faisait rien pour les réduire. D'autre part, l'assemblée des donateurs avait décidé d'institutionnaliser le concept d'*empowerment*, qui confiait la responsabilité de la gestion des interventions aux bureaux régionaux et aux agences locales, notamment le contrôle qualité, ne laissant plus aucune marge de manœuvre au DG. Le DG est remplacé par le directeur d'un bureau régional d'Amérique latine.

### **Après la rupture**

Suite à la démission du DG, le chef de projet qui pilotait la conception du système d'information FOES décide de démissionner à son tour. La nouvelle équipe responsable du système d'information reprendra les modules existants pour établir un système hybride, mieux adapté, le PMES (Planning Monitoring and Evaluation System). Le directeur de l'agence de Cali démissionnera également, peu de temps après le départ du DG.

Le Siège International est démantelé entre 1993 et 1994. Ce démantèlement provoque la formation d'un Département d'Appui aux Programmes, constitué d'anciens membres de Siège International et d'anciens directeurs de bureaux régionaux (cf figure 4.3). Ce bureau d'appui, relocalisé dans de nouveaux locaux à Londres, ne décide plus que de l'orientation politique générale de l'organisation ; la gestion des interventions est désormais entièrement confiée aux bureaux régionaux.

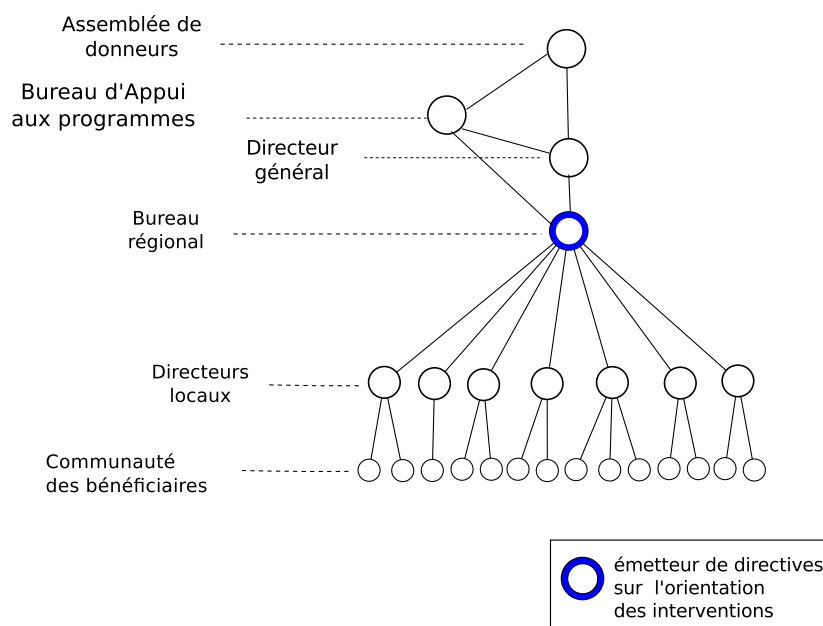


FIGURE 4.3 – Schéma de la structure de Plan International en 1994

#### 4.1.2 Première analyse : de l'Assistancialisme à l'Empowerment

L'assistencialisme est un terme qui désigne, pour les personnes ciblées par l'intervention d'une ONG, une dépendance passive par rapport à l'aide, dans laquelle ils bénéficient de l'aide sous forme de produit fini, plutôt que sous forme de processus. Dire qu'une ONG suit un modèle assistencialiste revient à dire qu'elle apporte une aide éphémère, souvent matérielle ou financière, sans se préoccuper de l'après.

Dans notre cas, lorsque le DG décide de promouvoir la croissance rapide du nombre de groupes familiaux parrainés, il adopte un modèle assistencialiste : en cherchant à augmenter le nombre de groupes familiaux parrainés, il vise un résultat à court terme, directement visible par l'assemblée des donateurs, et directement perçu par les bénéficiaires, et il néglige la dimension durable de la relation de confiance que les agences locales cherchaient à établir avec les familles.

Ce modèle est fortement critiqué par les Bureaux Régionaux de Plan International qui suivent en cela une critique qui se développe dans l'opinion publique. En réaction, ils vont promouvoir un modèle opposé : l'empowerment.

L'empowerment est une stratégie d'aide au développement qui implique les bénéficiaires dans toutes les étapes des processus d'assistance : définition des besoins, choix des solutions, planification de l'intervention, exécution et administration du projet, suivi et évaluation de l'intervention. On peut parler d'intervention participative. Ce modèle implique beaucoup plus les bénéficiaires de l'aide que le modèle traditionnel assistencialiste : il s'agit plus de «faire avec» que de «faire pour». L'objectif d'une politique d'empowerment est que les bénéficiaires de l'aide deviennent autonomes et puissent, à terme, ne plus en avoir besoin.

Selon Solarte, ces deux courants de pensées contraires (assistencialisme traditionnel de la direction et empowerment plébiscité par les bureaux régionaux) sont caractéristiques des tensions que traversent les organisations d'aide au développement social, dont le cas de Plan International est très représentatif.

La figure 4.4 résume l'historique de Plan International en une frise chronologique, où sont aussi représentées les périodes couvertes par les deux modèles que nous allons présenter.

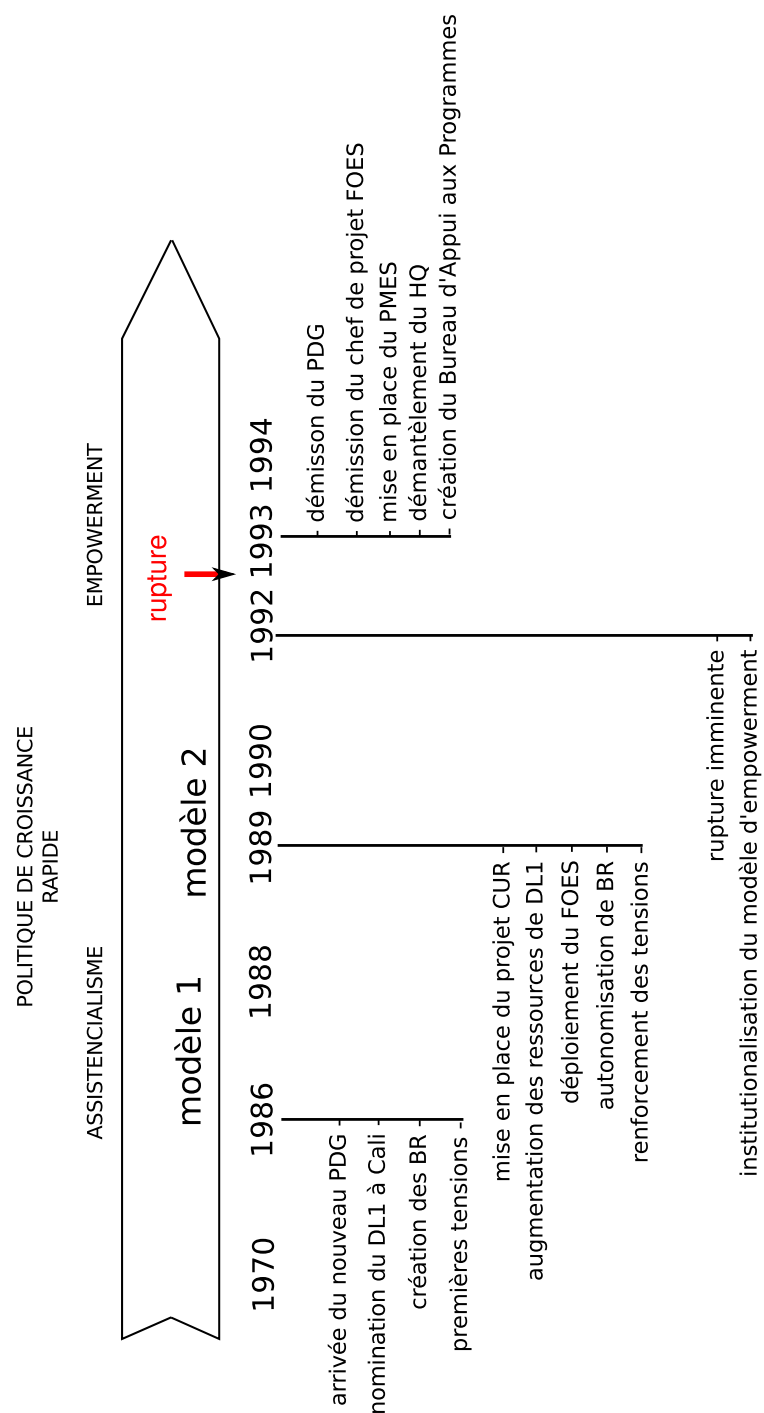


FIGURE 4.4 –  volution politique et  v nements majeurs de Plan International entre 1986 et 1994

## 4.2 Modélisation de la structure de l'organisation

Nous présentons dans cette section deux modèles de l'organisation, pour les périodes 1986-88 qui correspond à la période d'initiation de la SCAM, et 1989, lorsque les bureaux régionaux sont en place et qu'une relation de confiance s'est installée entre BR et les directeurs locaux DL2..

Nous commençons par donner une présentation des acteurs de l'organisation avant la première période modélisée.

### 4.2.1 Contexte historique : de 1981 à 1985

#### L'assemblée des donateurs BD

L'assemblée des donateurs, ou *Board des Donateurs* que nous noterons BD, est constituée des délégués des personnes qui font des dons à Plan International. Plan International étant une ONG internationale, un délégué représente en général un pays. Le BD joue le rôle d'une assemblée d'actionnaires ; c'est notamment lui qui nomme le DG de l'organisation.

#### Le directeur général DG

Le DG est chargé de la direction exécutive de l'ONG, en suivant les directives de BD. Il établit la stratégie d'intervention de Plan International au niveau mondial qui est ensuite mise en place et coordonnée par son équipe de travail : le siège international. Les décisions prises par le DG concernent notamment le suivi et la coordination des programmes régionaux de développement. Lors de cette période, le DG, comme ceux qui l'ont précédé, a une approche du développement assistancialiste sans exercer de fort contrôle.

#### Le siège international HQ

Le siège international (ou Headquarters, que nous noterons HQ) est placé sous la direction du DG. Ils forment ensemble le comité de direction de l'organisation. Les membres du HQ dirigent les bureaux de terrain (au niveau local) et mettent en place la politique définie par le BD. Ils sont l'articulation entre les agences de terrain et le DG, et assurent une certaine cohérence organisationnelle. Ils exercent un contrôle sur les agences locales par l'intermédiaire d'audits ou de déplacements sur place. Ce contrôle est très modéré, notamment à cause de l'absence d'indicateurs de performance définis. Le HQ prend aussi les décisions relatives à la croissance de Plan International et constitue l'interface entre l'organisation et l'environnement social.

#### Les Directeurs Locaux et le Directeur Local de Cali DL

Directement nommé par le DG, un directeur local établit la liste des projets à entreprendre et des ressources à y consacrer sur la base des directives du HQ. Le mandat de directeur local dure en général quatre ans : en fin de mandat, un directeur local est ré-affecté dans un pays différent. Avant 1986, le DL de Cali comme les autres directeurs locaux disposaient d'une grande autonomie et ne subissaient pas de pressions de la part de HQ sur les résultats de ses interventions. Le DL de Cali de cette époque (1981-1985) était respecté, et adoptait une approche paternaliste avec ses employés. Il était partisan des processus communautaires, prônait l'auto-responsabilité de ses employés, mais prenait tout de même les décisions.

#### La communauté et ses leaders COM

Les bénéficiaires des interventions de Plan International sont des communautés de personnes en situation de pauvreté. Au sein de ces communautés se trouvent des personnes dites leaders, qui ont la légitimité nécessaire pour représenter les intérêts de la communauté bénéficiaire car ils en connaissent les besoins. Leur rôle est de définir les priorités d'intervention et d'impliquer la communauté dans

la réception de l'aide fournie, qu'elle soit de type assistanciel ou de type participative. De manière générale, la communauté de Cali est satisfaite des services et de l'aide qu'elle retire des interventions de Plan International. Concrètement, la relation de parrainage entre le donateur individuel et un membre de la communauté (des enfants la plupart du temps) est fondée sur l'envoi périodique de lettres comme signe de remerciements.

#### **4.2.2 Modèle 1 : la période 1986-1988**

Au début de cette période, un nouveau DG est nommé, qui initie le processus de décentralisation en créant les bureaux régionaux (BR). Le DG nomme aussi un nouveau directeur local à l'agence de Cali (DL1), que nous distinguons des autres Directeurs Locaux (DL2).

##### **Les nouveaux acteurs**

##### **Le Bureau Régional BR**

Les Bureaux Régionaux sont formés à partir d'anciens directeurs locaux, expérimentés et reconnus pour leur expertise dans le pays concerné. Chaque BR prend ses directives auprès de HQ, et dirige les directeurs locaux à l'échelle d'un pays voire d'un continent. Les bureaux régionaux ont été créés sur la base de leur proximité avec le terrain. Au départ, les directeurs locaux étaient plutôt mécontents de l'introduction de ce nouvel acteur, leur supérieur hiérarchique direct. Pourtant, au fur et à mesure, et à cause de leur refus commun de la pression manageriale de HQ, les directeurs locaux d'agence sud-américaines formeront une alliance avec leur Bureau Régional, qui rassemblera les mécontentements des directeurs locaux et les fera valoir dans les négociations avec le comité de direction.

##### **le Directeur Local de l'agence de Cali DL1**

Le Directeur Local de Cali est directement nommé par le DG, il est totalement acquis à sa cause et à celle de HQ. En cela, il se distingue des autres directeurs locaux, qui rejettent l'approche manageriale que le DG essaye de mettre en place. Son poste de directeur local le place en principe sous l'autorité du Bureau Régional. Il ne reconnaît pourtant pas au BR le droit de critiquer ou de contrôler son travail, et le court-circuite régulièrement en contactant directement le DG. De ce fait, il est assez mal perçu par ses anciens collègues qui forment le Bureau Régional de l'Amérique du sud. Le zèle dont il fait preuve pour suivre la politique manageriale du DG, la SCAM basée principalement sur l'accroissement quantitatif, est en contradiction avec les valeurs de travail communautaire d'auto-soutenabilité partagées par les autres directeurs locaux.

##### **Les Directeurs Locaux DL2**

Les directeurs locaux dirigent les agences de terrains de Plan Internationale. Ils établissent l'affectation des ressources aux projets d'interventions de l'organisation, leur activité est de fait peu contrôlée. Opposés aux procédures de contrôle rigide de la SCAM, ils sont partisans d'une politique de croissance lente et progressive, à l'opposée de la SCAM.

##### **Les relations au sein de l'organisation**

Les grilles d'analyse stratégiques employées pour analyser ce cas conduisent à modéliser Plan International comme une organisation constituée de sept acteurs contrôlant chacun une relation (cf tableau 4.1).

L'assemblée des donateurs contrôle la relation «Ressources financières». L'état de cette relation représente la facilité (valeurs proches de 10) ou la difficulté (valeurs proches de -10) avec laquelle BD va rendre disponibles les ressources nécessaires à la politique d'extension de Plan International.

Relations	Contrôleur	Interprétation pour $e = -1$	Interprétation pour $e = 1$
Ressources Financières	BD	les fonds sont difficilement débloqués	le financement est accordé facilement
Croissance et contrôle	DG	instaure une politique de croissance lente	visé une expansion rapide et un contrôle managerial fort
Application niveau international	HQ	propose des projets participatifs, de type empowerment	ne propose que des projets de type assistancialiste
Application niveau régional	BR	n'applique pas les décisions de DG et BR	applique à la lettre les décisions de DG et HQ
Application niveau Cali	DL1	utilise des méthodes d'évaluation spécifiques au terrain d'intervention	met en place les méthodes d'évaluation et de contrôle standardisées
Application niveau local	DL2	utilise des méthodes d'évaluation spécifiques au terrain d'intervention	met en place les méthodes d'évaluation et de contrôle standardisées
Lettres	COM	Envoie peu de signes de remerciements	Envoie de nombreuses lettres et signes de remerciements

TABLE 4.1 – Les relations, leurs contrôleurs, et l'interprétation de leurs états.

Le DG contrôle la relation « Croissance et contrôle ». L'état de cette relation représente l'orientation plus ou moins marquée de la stratégie du DG vers la croissance et l'intensité du contrôle managérial qu'il exerce sur l'organisation (par l'évaluation généralisée notamment). Une valeur proche de -10 indique un contrôle très modéré et des objectifs de croissance faibles. Une valeur proche de 10 représente au contraire une pression managériale forte, un contrôle rigoureux et identique pour toutes les interventions et une incitation à l'expansion rapide très marquée. On pourrait objecter que l'état de cette relation ne représente pas la façon plus ou moins coopérative de se comporter du DG. Rappelons que le DG a été nommé par BD pour étendre l'organisation, et que du fait de ses valeurs et de ses compétences, DG estime que l'extension de Plan International passe par l'application de la SCAM. La stratégie que choisit le DG est définie pour les différents niveaux de l'organisation : pour HQ, qui agit au niveau international en coordonnant les instances de Plan International des différents pays, pour BR qui agit au niveau d'un continent, ou d'une région d'un continent, et enfin pour les directeurs locaux qui agissent au niveau d'une ville ou d'un secteur.

Les relations que contrôlent HQ, BR, DL1 et DL2 représentent l'application de la politique du DG à leurs niveaux d'intervention respectifs. Pour ces relations, une valeur proche de 10 indique que la politique du DG est appliquée : les actions entreprises par l'acteur sont dirigées vers une croissance rapide et favorise un contrôle des opérations en accord avec la stratégie d'évaluation généralisée que prône le DG. Une valeur d'état proche de -10 indique au contraire que les actions entreprises par les acteurs visent une croissance lente, avec une dimension participative plus marquée, et un contrôle des opérations qui tient compte des spécificité du terrain sur lequel elles sont mises en place.

Le HQ contrôle la relation « Application niveau international ». HQ agit au niveau international, pour relayer et appliquer l'orientation stratégique déterminée par le DG. La valeur de l'état de cette relation s'interprète comme la conformité des informations et des propositions d'interventions avec cette orientation, en d'autres termes, si HQ applique ou non la politique du DG. Une valeur proche de 10 signifie que HQ fait des propositions qui opérationnalisent la volonté stratégique du DG, qui fa-



vorisent un contrôle fort et une croissance rapide. Une valeur proche de -10 signifie qu'au contraire, les propositions ne cadrent pas avec la stratégie du dirigeant et sont plutôt orientées vers la participation des communautés, et une croissance plus lente.

Le Bureau Régional contrôle la relation «Application niveau régional». Chaque Bureau régional possède un catalogue de projets d'aide au développement, selon les compétences dont disposent les bureaux locaux qui dépendent de lui. Ces projets d'intervention peuvent être plus ou moins participatifs, ou au contraire plus ou moins dirigés vers la croissance. Le Bureau régional peut appliquer les décisions des instances dirigeantes à la lettre (état proche de 10, politique de croissance rapide et contrôle précis) ou au contraire s'éloigner de leurs prescriptions (valeur proche de -10, projets de nature participative et contrôle particularisé). L'espace de choix de cette relation est bornée à  $[-5; 10]$  dans le modèle 1, pour représenter le fait que la BR ne peut s'opposer que de façon limitée aux nouvelles directives du comité de direction.

DL1 contrôle la relation «Application niveau Cali». L'état de cette relation représente la politique suivie par DL1 dans sa gestion de l'agence de Cali. DL1 suit les directives du DG, qui consistent à mettre en oeuvre la politique de croissance rapide et à instaurer un contrôle généralisé des interventions. Cela constitue (du moins aux yeux du DG et de DL1) une innovation par rapport au mode de fonctionnement précédant l'arrivée de DL1 à Cali. Un état proche de 1 indique que DL1 modifie totalement le fonctionnement de l'agence de Cali, et met en place concrètement la SCAM, conformément au Plan Cali. Une valeur de -10 représente au contraire une faible innovation dans le mode de fonctionnement de l'agence de Cali, similaire à celui à l'oeuvre dans les autres agences locales de Plan International.

Les autres directeurs locaux DL2 contrôlent la relation «Application niveau local». Dans les actions qu'ils entreprennent, les directeurs locaux peuvent mobiliser leur connaissance du terrain et adapter leurs interventions de façon spécifique, ce qui s'éloigne des directives de l'organisation à cette période (valeur d'état proche de -10). Au contraire ils peuvent adopter une gestion qui facilite la croissance et le contrôle, ce qui est en accord avec les directives de l'organisation (valeur de l'état proche de 10). Comme pour BR, l'espace de choix de la relation «Application niveau local» est bornée à  $[-0.5; 1]$  dans le modèle 1, pour représenter le fait que les acteurs locaux ne peuvent pas agir radicalement à l'encontre des directives qu'ils reçoivent du comité de direction.

La communauté de bénéficiaires contrôlent la relation «Lettres». La valeur de l'état de cette ressource s'interprète comme la quantité de lettres et de témoignages de remerciement envoyés aux donateurs par les bénéficiaires. Une valeur proche de -10 s'interprète comme des manifestations peu abondantes, signe que la communauté ne bénéficie que des aides minimum, une valeur proche de 10 comme un envoi massif de lettres, lorsque la communauté bénéficie à plein des interventions.

La répartition des points d'enjeux sur ces relations est donnée tableau 4.2.

TABLE 4.2 – Enjeux posés par les acteurs sur les relations (les enjeux posés par un acteur sur la relation qu'il contrôle sont sur la diagonale)

	BD	DG	HQ	BR	DL1	DL2	COM	pertinence
Ressources financières	3	2	2	0	0	0	5	<b>12</b>
Croissance et contrôle	2	3	2	3	2	1	0	<b>13</b>
Application niveau international	0	1	1	1	1	1	0	<b>5</b>
Application niveau régional	0	0	1	4	0	1	0	<b>6</b>
Application niveau Cali	1	2	2	1	4	1	1.5	<b>12.5</b>
Application niveau local	1	2	2	1	1	4	1.5	<b>12.5</b>
Lettres	3	0	0	0	2	2	2	<b>9</b>

On peut remarquer que les relations contrôlées par HQ et BR sont les moins pertinentes du modèle. Cela traduit le fait que HQ, sous la direction du DG, ne joue qu'un rôle de relai auprès des instances régionales et locales, plus attentives à la nouvelle orientation du DG. Le bureau régional, récemment

créé, ne joue pas encore un rôle important et manque encore de légitimité auprès des autres acteurs, notamment DL2.

## Les solidarités

Les solidarités ont une place particulièrement importante dans ce modèle : elles représentent les alliances (et inimitiés) entre les acteurs basées sur le partage d'une certaine conception de l'aide au développement (croissance à court terme basée sur l'assistance d'un côté, confiance et empowerment à long terme de l'autre). Le tableau 4.3 donne les solidarités que pose chaque acteur (en ligne) sur les autres (en colonne). La somme des solidarités de chaque acteur est normalisée à 1. Les différences de conceptions de l'aide au développement entre les acteurs ne donnent pas lieu à des hostilités justifiant des solidarités négatives.

TABLE 4.3 – Solidarités des acteurs de Plan International

	BD	DG	HQ	BR	DL1	DL2	COM
BD	0.6	0.1	0.05	0	0	0	0.25
DG	0.2	0.6	0.05	0.05	0.1	0	0
HQ	0.1	0.2	0.6	0	0.05	0	0.05
BR	0	0.15	0	0.6	0	0.2	0.05
DL1	0.05	0.2	0.05	0	0.6	0	0.1
DL2	0.05	0	0	0.15	0	0.7	0.1
COM	0	0	0	0	0.1	0.1	0.8

On peut noter que les trois acteurs BD, DG et HQ entretiennent des solidarités positives et réciproques.

## Les fonctions d'effet

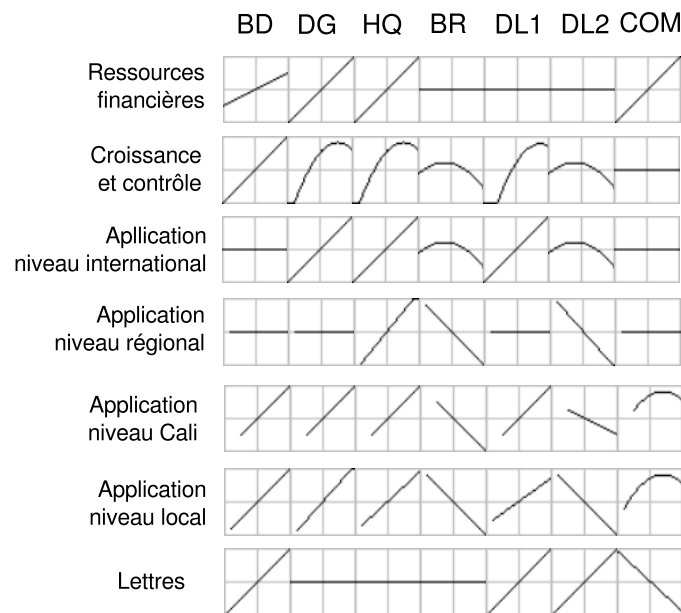


FIGURE 4.5 – Fonctions d'effets du modèle de Plan International pour la période 1986-1988.

Les fonctions d'effets des relations «Application niveau régional», «Application niveau Cali», et «Application niveau local», contrôlées respectivement par le Bureau Régional et les Directeurs DL1 et DL2, montrent une opposition nette entre les instances locales (BR et DL2) et les instances dirigeantes (HQ et DG) associées à DL1. Ces trois relations sont celles sur lesquelles les idéologies des deux partis s'affrontent. BR et les instances locales rejettent l'orientation stratégique prise par l'organisation : les fonctions d'effets correspondantes sont l'inverse de celles des dirigeants, et plus

les décisions seront appliquées conformément aux directives (valeurs d'état proches de 10), plus les instances locales s'éloigneront de leurs propres objectifs : installer un développement durable. De même, si BR et DL2 décident de ne pas tenir compte des décisions prises par les dirigeants (valeurs d'état proche de -10) et d'agir selon leur approche traditionnelle (croissance lente mais sûre), ils contreviennent aux objectifs de croissance des dirigeants.

DL1, qui contrôle «Application niveau Cali», est au contraire totalement acquis à la cause du DG. Il a donc intérêt à suivre ses instructions et à agir selon le modèle de croissance rapide qu'il prône : changer les pratiques de l'agence (valeurs de l'état proche de 10) pour atteindre ses objectifs et bénéficier du soutien du DG. Cette innovation dont pourrait faire preuve le DG va à l'encontre des objectifs des autres instances locales (DL2 et BR), qui ne se reconnaissent pas dans cette façon de pratiquer, et préféreraient que DL1 ne s'éloigne pas du mode de fonctionnement traditionnel (valeurs proche de -10).

Rappelons enfin que l'espace de choix des relations «Application niveau régional» et «Application niveau local» est limité aux intervalles  $[-5; 10]$ , pour représenter le fait que BR ne peut pas totalement rejeter les directives des dirigeants et ne proposer que des projets qui vont à l'encontre des décisions du siège, et que DL2 ne peut pas non plus refuser de mettre ses compétences au service de l'organisation.

### Simulations et premières analyses des résultats

Les tableaux 4.4 et 4.5 présentent les résultats d'une expérience de 200 régulations simulées, dont nous donnons les valeurs d'états et de satisfactions moyennes.

TABLE 4.4 – Valeurs moyennes et écarts types des états des relations à convergence

Relation	État	Écart type	Interprétation
Ressources financières	9.9	0.03	BD donne plein accès aux ressources financières
Croissance et contrôle	6.3	0.95	le DG exerce sa stratégie de croissance et de contrôle, sans aller trop loin
Application niveau international	9.5	0.59	HQ opérationnalise pleinement la stratégie de croissance et de contrôle
Application niveau régional	-4.9	0.04	BR applique autant qu'il le peut une politique opposée aux directives stratégiques
Application niveau Cali	9.9	0.05	DL1 étend sur le terrain les opérations de contrôle et de croissance
Application niveau local	-4.9	0.09	DL2 s'oppose autant que possible aux directives
Lettres	-9.4	0.54	La communauté ne montre pas de signes de remerciements

Les écarts types étant faibles, on constate que les simulations convergent presque invariablement

dans la même configuration ; cela tient à ce que la plupart des fonctions d'effet de ce modèle sont linéaires.

TABLE 4.5 – Moyennes (en valeur et pourcentage) de la satisfaction des acteurs à convergence

Acteur	Satisfaction	Pourcentage de satisfaction maximale
<b>BD</b>	30.9	67.4%
<b>DG</b>	45.1	75.5%
<b>HQ</b>	49	75%
<b>BR</b>	15.2	77.8%
<b>DL1</b>	48.3.3	75.2%
<b>DL2</b>	5.3	65.4%
<b>COM</b>	66.2	94.7%

Dans les configurations résultants de la simulation, tous les acteurs sont raisonnablement satisfaits, compte tenu de ce qu'ils peuvent attendre du jeu (troisième colonne du tableau 4.5 ). Au vu des états des relations, on constate une opposition entre le groupe formé de DL2 et BR, et le groupe formé par le DG,HQ et DL1 : tandis que DG, HQ et DL1 appliquent pleinement la politique stratégique du DG (la valeur de l'état de leurs relations est proche de 10), BR et DL2 s'opposent au maximum à cette politique (la valeur de l'état de leurs relations est la borne minimum de la relation).

TABLE 4.6 – Influence d'un acteur (en colonne) sur chacun des autres (en ligne), dans la configuration résultat de la régulation simulée du modèle 1

	<b>BD</b>	<b>DG</b>	<b>HQ</b>	<b>BR</b>	<b>DL1</b>	<b>DL2</b>	<b>COM</b>	<b>Satisfaction</b>
<b>BD</b>	24.3	10.9	1.4	-0.3	11.1	-3.7	-12.7	<b>30.9</b>
<b>DG</b>	15.8	18.9	6.9	0.7	18.5	-8.1	-7.5	<b>45.1</b>
<b>HQ</b>	19.8	16.3	8.1	-3.6	19.4	-8.1	-2.9	<b>49</b>
<b>BR</b>	5.4	0.2	-2.5	13.1	-3.6	5.5	-2.9	<b>15.2</b>
<b>DL1</b>	10.6	15.2	8.1	-0.3	30.3	-4.6	-11	<b>48.3</b>
<b>DL2</b>	5.7	-1.3	-4.2	6.9	-3.7	14.9	-12.9	<b>5.3</b>
<b>COM</b>	39.6	1.3	0.4	0.6	10.1	4.5	9.8	<b>66.2</b>
<b>Influence</b>	<b>121.3</b>	<b>61.5</b>	<b>18.2</b>	<b>17</b>	<b>82.1</b>	<b>0.3</b>	<b>-40.1</b>	
<b>Influence absolue</b>	<b>121.3</b>	<b>64.1</b>	<b>31.6</b>	<b>25.4</b>	<b>96.6</b>	<b>49.4</b>	<b>59.7</b>	

BR et DL2 sont les acteurs qui pâtissent le plus de cette opposition : on remarque sur le tableau 4.6 qu'à l'exception de BD et d'eux-mêmes, tous les autres acteurs du jeu contribuent négativement à leur satisfaction. Inversement, l'opposition de BR et DL2 ne pénalise pas vraiment le groupe formé par DG, DL1 et HQ, qui compense la perte de satisfaction par d'autres contributions. Remarquons également que c'est BD qui dispose du plus d'influence, bien qu'il prenne peu part au conflit.

Il nous semble intéressant, à la lecture du tableau 4.6 de rassembler les contributions des acteurs pour mettre en lumière le rapport de forces entre les deux groupes formés par DG, DL1 et HQ d'une part et BR et DL2 d'autre part.

Nous allons distinguer et agréger les contributions qu'ils reçoivent selon leur provenance :

- intra-groupe : l'autosatisfaction de chaque membre, et la contribution de chacun aux autres membres.
- extra-groupe : les contributions des acteurs périphériques, COM et BD.
- d'opposition : les contributions du groupe adverse.

La figure 4.6 représente le rapport de forces entre les deux groupes dans le modèle 1.

L'essentiel de la satisfaction du groupe (DG, HQ, DL1) provient d'eux-mêmes (147.1), et l'opposition du groupe (BR, DL2) (-12) ne dépasse pas en valeur absolue celle des acteurs périphériques

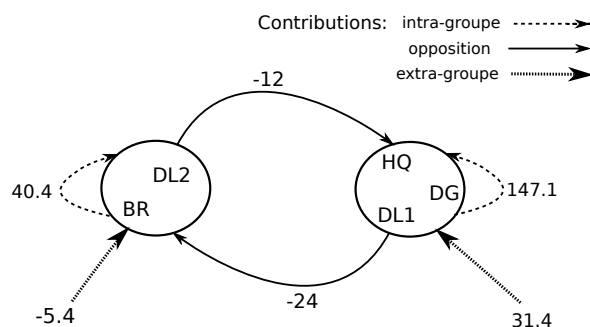


FIGURE 4.6 – Contributions agrégées à la satisfaction des groupes (BR,DL2) et (DG,DL1,HQ) dans la configuration régulée, pour le modèle 1

(31.4), qui contribuent positivement à leur satisfaction. L'essentiel de la satisfaction du groupe (BR, DL2) provient également d'eux-mêmes (40.4), mais elle est beaucoup moins importante par rapport à l'opposition du groupe (DG, HQ, DL1) (-24), et la contribution négative extra-groupe n'arrange pas leur situation (-5.4).

En fait, l'opposition entre ces deux groupes n'est pas suffisamment dommageable pour les satisfactions respectives de chacun pour que des compromis soient faits. Les deux groupes sont presque auto-suffisants, et peuvent donc se permettre de s'opposer franchement, sans que leurs satisfactions en pâtissent. Même si le groupe (BR, DL2) est clairement en situation d'infériorité dans cette opposition, il est suffisamment autonome pour s'opposer à l'autre groupe par son comportement sur les relations qu'il contrôle, au maximum de ses possibilités.

Notons également que la relative indépendance des deux groupes, qui leur permet d'avoir les moyens de ne pas faire de concession envers l'autre, est renforcée par les solidarités qu'ils entretiennent à l'intérieur de ces groupes : DL2 se préoccupe de BR, DL1 se préoccupe majoritairement du DG, le DG se préoccupe plus de DL1 que de BR, et HQ se préoccupe du DG.

Comparons maintenant cette configuration résultat des simulations avec deux configurations remarquables : la configuration de capacité d'action globale maximale et la configuration correspondant à l'équilibre de Nash.

TABLE 4.7 – Configuration à convergence, d'équilibre de Nash et de Satisfaction globale maximale

	Configuration à convergence	Configuration d'équilibre de Nash	Configuration de <i>Satis</i> <sub>globale</sub> maximale
Ressources financières	9.9	10	10
Croissance et contrôle	6.3	6	6
Application niveau international	9.51	10	10
Application niveau régional	-4.9	-5	-5
Application niveau Cali	9.9	10	10
Application niveau local	-4.9	-5	7
Lettres	-9.4	-10	10

On constate que la simulation converge vers la configuration correspondant à l'équilibre de Nash (cf. tableau 4.7) : une configuration où chacun joue «défensif», car aucun acteur ne peut améliorer

sa situation en agissant seul, i.e. sans que d'autres compensent la perte de capacité d'action qu'il infligerait. On remarque aussi que DL2 n'accepterait la situation de satisfaction globale maximale, qui se traduit pour lui par une satisfaction négative. Quant à BR, il semble que son rôle dans l'organisation soit paradoxal (état à -5 de la relation qu'il contrôle pour la configuration de satisfaction globale maximale) : le mieux pour l'ensemble de l'organisation est qu'il ne fasse pas ce qu'on lui demande de faire ! De plus, la configuration de satisfaction globale maximale nous indique que l'organisation gagnerait à ce que DL2 adopte la politique de croissance, tandis que BR continuerait à s'y opposer : il y a donc un problème dans la structure de cette l'organisation qui fonctionnerait mieux en ayant une opposition marquée entre les intervenants de terrain (DL2) et leur coordinateurs (BR).

TABLE 4.8 – Satisfactions obtenues par les acteurs dans les configurations de satisfactions globales maximales et minimales du modèle 1

	Satisfactions obtenues dans la configuration de <i>Satis</i> <sub>globale</sub> minimale	Satisfactions obtenues dans la configuration de <i>Satis</i> <sub>globale</sub> maximale
<b>BD</b>	-62.3	69.8
<b>DG</b>	-75.7	80.7
<b>HQ</b>	-64	75.9
<b>BR</b>	-36.7	9.1
<b>DL1</b>	-69.5	84.2
<b>DL2</b>	-18.7	-2.2
<b>COM</b>	-28.4	48.6

De cette première analyse, nous concluons que lors du changement d'orientation de la politique de Plan International, les décisions prises par les dirigeants sont globalement mises en œuvre, les opposants ne disposant pas des moyens nécessaires pour s'opposer efficacement à son déploiement. Dans un premier temps, chacun décide de continuer son action de son côté, chacun joue le jeu de façon individualiste, la structure de l'organisation ne les incite pas suffisamment à trouver d'autres stratégies pour coopérer.

### 4.2.3 Modèle 2 : 1989

#### Les changements organisationnels

Depuis 1986, les tensions entre le comité de direction et les intervenants de terrain s'accroissent. L'acteur BR, fraîchement institué dans l'organisation à l'époque du modèle 1, est désormais en place, ce qui lui a permis d'asseoir sa légitimité de terrain, et de rassembler les opinions défavorables des directeurs locaux à propos de la nouvelle politique de l'organisation. En particulier, les directeurs locaux rejettent la généralisation des contrôles et des évaluations des interventions. En effet, ces évaluations sont toutes réalisées de la même façon, avec les mêmes critères, indépendamment des conditions de vie de la population bénéficiaire et du pays concerné. Les directeurs locaux, voyant que ces procédures ne tiennent pas compte des spécificités du terrain, ont le sentiment d'être mal évalués. Ils font part de leurs doléances au BR qui les porte à la connaissance du comité de direction lors des réunions où il les représente. BR dispose de ce fait de davantage de poids dans les négociations.

Cette légitimité et l'autonomie de BR le font s'affranchir un peu plus des décisions du siège international. Les directeurs locaux, qui reconnaissent de moins en moins l'autorité du comité de direction, vont se tourner vers BR et lui accorder plus d'importance. Le comité de direction est conscient de cette opposition grandissante et du poids politique qu'elle représente, et va accorder moins d'attention aux Directeurs Locaux, au profit des Bureaux régionaux.

Pour représenter cette évolution dans un nouveau modèle, nous conservons les mêmes solidarités entre les acteurs mais la majeure partie des enjeux posés par HQ et DG sur les relations que contrôlent DL1 et DL2 est transférée sur la relation que contrôle BR.

De plus, les bornes de l'espace de choix des relations contrôlées par BR et DL2 sont étendues de  $[-0.5; 1]$  à  $[-0.8; 1]$  pour représenter une certaine émancipation de la part des opposants, par rapport au contrôle managérial. En effet, la mise en place dans les régions de systèmes d'informations et d'évaluations parallèles à ceux établis par le comité de direction et le soutien mutuel entre BR et DL2 leur permettent de s'émanciper encore d'avantage des décisions de la hiérarchie.

TABLE 4.9 – Enjeux posés par les acteurs sur les relations, pour le modèle 2

	BD	DG	HQ	BR	DL1	DL2	COM	pertinence
Ressources financières	3	1.5 (↘)	2	0	0	0	5	<b>11.5</b>
Croissance et contrôle	2	3	2	3	2	0 (↘)	0	<b>12</b>
Application niveau international	0	1	1	1	0 (↘)	0 (↘)	0	<b>3</b>
Application niveau régional	0	3 (↗)	3.5 (↗)	4	1 (↗)	3 (↗)	0	<b>14.5</b>
Application niveau Cali	1	0.5 (↘)	0.5 (↘)	1	4	1	1.5	<b>10.5</b>
Application niveau local	1	1 (↘)	1 (↘)	1	1	4	1.5	<b>9.5</b>
Lettres	3	0	0	0	2	2	2	<b>9</b>

La nouvelle répartition des enjeux (cf table 4.9) reflète l'importance que prend BR : la relation qu'il contrôle est deux fois et demi plus pertinente que dans le modèle 1 ( 14.5 contre 6). La nouvelle répartition illustre aussi l'accentuation de la séparation entre le niveau opérationnel et le niveau décisionnel de l'organisation. Les locaux (DL1 et DL2) reportent sur BR l'attention qu'ils portaient auparavant au comité de direction, et le comité de direction reporte sur lui l'attention qu'ils portaient aux agences locales. Le BR est l'interface entre ces deux niveaux, il pèse désormais plus dans la balance.

## Simulations et première analyse des résultats

Les tableaux 4.10 et 4.11 présentent le résultat d'une expérience de simulation de 200 régulations.

Les simulations convergent systématiquement dans la même configuration, où tous les acteurs sont raisonnablement satisfaits (cf table 4.11), même DL2, dont la situation s'est grandement améliorée. Si les valeurs des états de certaines relations ont changé, du fait de l'extension de l'espace de comportement des relations contrôlées par BR et DL2, la tendance générale reste la même que dans le modèle 1. BR et DL2, s'opposent toujours à la politique des dirigeants, sans résultat significatif sur le comportement de DG et de HQ ; malgré la pertinence de la relation contrôlée par BR, l'action des dirigeants est confortée.

Examinons l'évolution par rapport au modèle 1 du rapport de forces entre ces deux groupes, à l'aide du tableau 4.12. La figure 4.7 synthétise le nouveau rapport de forces entre le groupe (BR, DL2) et le groupe (DG, DL1, HQ). Si le groupe (BR, DL2) avait le dessous dans le modèle 1, ce n'est plus le cas dans ce modèle. Il est plus autonome, puisque la contribution négative du groupe adverse ne représente plus qu'environ un quart de son autosatisfaction (-17.4 et 77.8), contre la moitié dans le modèle 1 (cf figure 4.6) ; il peut donc y faire face de façon plus efficace. Le groupe (DG, DL1, HQ) se suffit encore à lui-même, mais la contribution négative de l'opposition devient très significative : environ la moitié de son autosatisfaction (-60.9 et 114), alors qu'elle était de l'ordre du dixième dans le modèle 1. Le rapport de force s'est clairement inversé en faveur du groupe (BR, DL2) : il est plus autonome, son opposition est bien plus efficace, et il subit une pénalité bien moins gênante. Par rapport au modèle 1, l'opposition est plus intense, les forces déployées sont plus importantes, même si chaque groupe se

TABLE 4.10 – Valeurs moyennes et écarts types des états à convergence pour le modèle 2

Relation	État	Écart type	Interprétation
Ressources financières	9.9	0.03	BD donne plein accès aux ressources financières
Croissance et contrôle	6.18	0.71	le PDG exerce une stratégie de croissance et de contrôle forte, mais sans excès
Application niveau international	9.6	0.57	HQ opérationnalise la stratégie de croissance et de contrôle
Application niveau régional	-7.97	0.02	BR montre une opposition forte à la politique choisie
Application niveau Cali	9.93	0.04	DL1 étend sur le terrain les opérations de contrôle et de croissance
Application niveau local	-7.87	0.12	DL2 emploie ses compétences de façon opposée aux directives
Lettres	-9.32	0.56	La communauté envoie très peu de signes de remerciements

TABLE 4.11 – Valeurs, écart types, et pourcentage de la satisfactions des acteurs

Acteur	Satisfaction	Ecart type	Pourcentage de satisfaction maximale
BD	23.5	0.5	66%
PDG	31.4	0.3	66%
HQ	20	0.1	59%
BR	29	0.1	72%
DL1	34.7	0.4	69%
DL2	34.1	0.5	74%
COM	64.4	0.4	92%

suffit toujours à lui-même et conserve son comportement tranché sans chercher de compromis.

Comparons maintenant la configuration régulée avec les configurations correspondant à l'équilibre de Nash et à la satisfaction globale maximale.

La simulation converge encore vers l'équilibre de Nash. Comme pour le modèle précédent, la configuration de satisfaction globale maximale indique que BR devrait adhérer à la politique de croissance rapide, et que les directeurs locaux devraient continuer à s'y opposer.

### 4.3 La rupture et la réorganisation : analyse de la période 1990-1994

Nous ne donnerons pas de modèle de la structure de Plan International pour la période post-rupture. La décentralisation, le changement de mode de fonctionnement qui l'accompagne et l'important renouvellement des membres de l'organisation après 1993 font qu'un modèle de l'organisation à



TABLE 4.12 – Influence exercée par un acteur (en colonne) sur chacun des autres (en ligne), dans les configurations résultats de la régulation simulée sur le modèle 2

	BD	PDG	HQ	BR	DL1	DL2	COM	Satisfaction
BD	24	10.6	1.4	-1.7	8.8	-6.7	-12.6	<b>23.9</b>
PDG	13	18.9	6	-0.1	8.7	-4.6	-7.4	<b>31.7</b>
HQ	19	16.3	7.7	-20.2	7.3	-4.3	-2.9	<b>20.1</b>
BR	4.8	0.8	-1.6	24.5	-5.8	10.4	-2.9	<b>29.4</b>
DL1	9.8	15.2	2.4	-1.7	26.3	-5.1	-10.9	<b>35</b>
DL2	5.8	-0.1	-0.8	23.3	-3.6	22.9	-12.7	<b>34.5</b>
COM	40	1.5	0.0	2.6	10.1	0.3	9.7	<b>64.3</b>
Influence	<b>116.3</b>	<b>63.3</b>	<b>15.2</b>	<b>26.8</b>	<b>51.9</b>	<b>5.3</b>	<b>-39.7</b>	
Influence absolue	<b>116.3</b>	<b>63.4</b>	<b>19.9</b>	<b>74.0</b>	<b>70.6</b>	<b>59.9</b>	<b>59.1</b>	

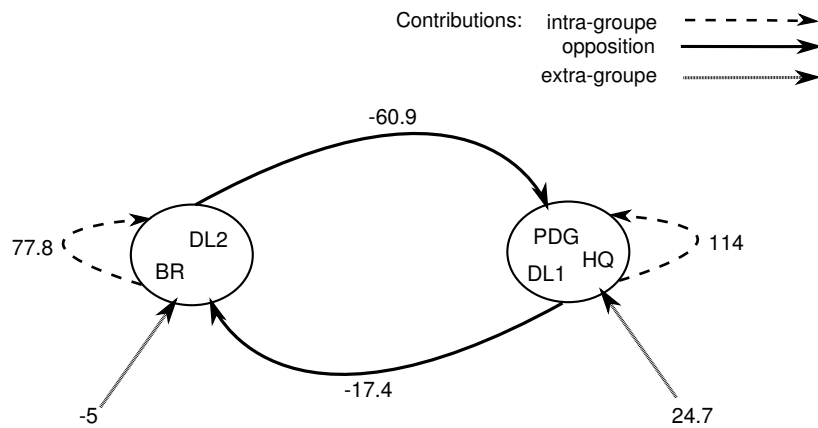


FIGURE 4.7 – Contributions agrégées à la satisfaction des groupes (BR, DL2) et (HQA, DL1), dans la configuration régulée du modèle 2.

TABLE 4.13 – Configuration à convergence, d'équilibre de Nash et de CA globale maximale

	Configuration à convergence	Configuration d'équilibre de Nash	Configuration de <i>Satis</i> <sub>globale</sub> maximale
Ressources financières	9.9	10	10
Croissance et contrôle	6.2	6	6
Application niveau international	9.5	10	10
Application niveau régional	-7.9	-8	-8
Application niveau Cali	9.9	10	10
Application niveau local	-7.9	-8	0
Lettres	-9.3	-10	10

cette période ne serait pas comparable avec les deux précédents. D'autre part, les divergences d'opinions sur la stratégie de l'organisation et le caractère conflictuel des relations entre les deux groupes (BR,DL2) et (HQA,DL1,DG), qui faisaient l'intérêt de la modélisation du cas ont disparu lorsque l'empowerment a été institutionnalisé, et que les Bureaux Régionaux ont pu mener intégralement les projets

d'interventions : le jeu de pouvoir à l'œuvre entre les deux groupes n'a plus de raison d'exister.

Cependant afin de relater tout l'histoire de la décentralisation de Plan International et surtout pour montrer que l'évolution de Plkan International préfigurée par les deux modèles précédents s'est concrétisée, nous allons décrire et analyser, sur la base du témoignage de Mc Peak, les événements de la période 1990-1994.

## **L'institutionnalisation de l'empowerment**

En 1990, l'organisation amorce un virage stratégique en décidant de confier le contrôle des interventions de terrain au BR. Le BR avait déjà la capacité et la légitimité de le faire : sur le terrain les agences locales suivaient les directives du BR plutôt que celles de HQ et DG, mais BR dispose désormais d'un nouveau statut, qui lui permet d'agir en accord avec les valeurs qu'il prône, et de façon reconnue par l'organisation. Cette décision marque le début d'un nouveau mode de fonctionnement pour l'organisation : le rôle de BR n'est plus de coordonner l'action des agences locales d'un pays ou d'une région, mais bien de couvrir tous les aspects de l'activité d'assistance : conception des projets d'intervention (ce qui inclut la définition des objectifs), allocations des ressources, mise en application des projets, contrôle et évaluation des interventions. Cela finalise le processus de décentralisation : les décisions stratégiques pour l'activité de l'organisation sont prises à l'échelle régionale. Les objectifs et le contrôle des interventions étant maintenant fixés par BR, DG et HQ n'ont plus aucune prise sur l'activité de l'organisation ; leur rôle doit être redéfini. Ce processus s'accompagne de ce que Solarte appelle une *fragmentation organisationnelle*.

## **La fragmentation organisationnelle**

La fragmentation organisationnelle est un processus qui semble accompagner fréquemment la décentralisation d'une organisation de grande taille. Le transfert de pouvoir et de responsabilité à des entités plus basses dans l'arbre hiérarchique entraîne une multiplication des modes de fonctionnement dont il est difficile de maintenir la coordination et la cohérence et, à terme, l'efficacité. Cette diversité dans les modes de fonctionnement peut être bénéfique pour l'organisation à condition qu'elle ne mette pas en danger l'*intégration* de l'organisation et surtout sa raison d'être.

C'est ce qui se passe à Plan International : en 1993, la structure des Bureaux régionaux deviennent de plus en plus hétérogènes. Certains bureaux régionaux s'agrandissent, alors que d'autres délèguent une partie de leur activité aux agences locales. La fragmentation organisationnelle de Plan International prend différentes formes selon les pays. En 1992 par exemple, tous les postes de directeur locaux d'Amérique centrale et des Caraïbes sont supprimés, et les personnels ré-affectés dans d'autres agences. En Afrique de l'ouest, un des poste de directeur local de Plan International est transformé en directeur national et la gestion des interventions est intégralement gérée par les agences locales.

. Dans le cas particulier où il s'agit d'une ONG d'aide au développement, Mc Peak note qu'une dimension émotionnelle s'ajoute à la fragmentation de l'organisation, à propos des conflits qui surviennent entre les instances dirigeantes des ONG et leurs agences locales [McPeak, 2001] :

This conflict has deep roots, related to the value-driven nature of nongovernmental organizations. Because INGOs strive to create a better, fairer, more just, and more sustainable world, an emotional association is formed between the self-image of staff members and their day-to-day work.

D'une part, la décentralisation éloigne les dirigeants des interventions concrètes de terrain, ce qui leur donne l'impression de ne plus contribuer à la cause de l'organisation, et de s'éloigner des raisons qui les ont poussés à choisir ce métier. A Plan International, c'est ce qui est arrivé à HQ : la décentralisation, l'échec de la SCAM et le transfert de la responsabilité de l'évaluation aux bureaux régionaux ont contribué à nier sa raison d'être, ce qui explique aussi son démantèlement. D'autre part le rôle des dirigeants, s'il ne consiste plus à piloter les interventions, devient flou. Ils ne peuvent plus endosser le rôle traditionnel du dirigeant, toute tentative de mesure et de contrôle étant mal perçue au niveau local, puisque contraire à la décentralisation. Enfin, au niveau des agences locales d'une ONG,

les membres peuvent avoir eux aussi le sentiment de ne plus contribuer à la cause de l'organisation. Non pas qu'ils soient éloignés du terrain, mais parce qu'ils ne perçoivent plus la place et l'intérêt de leur travail dans l'action globale, et qu'ils perdent de vue l'objectif de l'organisation.

Mc Peak, qui décrit dans [McPeak, 2001] les moyens mis en place pour réduire la fragmentation organisationnelle de Plan International, occupait les fonctions de Directeur Régional d'Amérique du Sud jusqu'en 1993, puis intègre la direction du Bureau d'Appui aux programmes, dans le but de remplir cette mission.

## Le renouvellement des acteurs de Plan International

Le directeur général, qui avait initié le processus de décentralisation, et qui de ce fait s'est trouvé au cœur des tensions dès leur apparition, finit par démissionner en 1993. Ces tensions et l'adoption institutionnelle de l'empowerment ne lui laissait plus aucune marge de manœuvre pour peser dans le fonctionnement de Plan International.

L'assemblée des donateurs remplace le directeur général par un directeur transitoire, issu de la direction du Bureau Régional de l'Amérique latine. L'agence de Cali, suite au tournant stratégique pris par l'organisation, a perdu son caractère innovant de «cobaye» de l'ancienne politique du DG. Du fait ce changement de stratégie, le directeur DL1 a démissionné dans la foulée du directeur général.

Autre signe du changement que subit alors l'organisation, le chef de projet en charge de la réalisation du système d'information FEOS démissionne lui aussi. Cette ressource, vraisemblablement coûteuse pour l'organisation, répondait seulement au besoin du commanditaire (le DG) et non à ceux des utilisateurs finaux (les DL). Par son processus d'évaluation et de contrôle centralisé et uniformisé, ce système d'information reflétait le refus de prendre en compte la spécificité des opérations à l'échelle locale, ce qui explique que les agences ne l'aient pas adopté pleinement et se soient dotées de leurs propres systèmes en parallèle. L'équipe de développement qui prendra la succession du chef de projet utilisera certains modules du système centralisé pour concevoir un nouveau système, plus souple.

Dans le but de réduire la fragmentation de l'organisation, le siège international HQ est démantelé entre 1993 et 1994, et transformé en un *Bureau d'appui aux projets*, constitué de directeurs de bureaux régionaux de différents pays où intervient Plan International. La position du bureau d'appui aux projets diffère vraiment de celle de l'ancien HQ : il n'est plus l'équipe de travail du Directeur Général qui relaie sa stratégie en donnant des directives aux bureaux régionaux et en contrôlant les interventions. Son rôle s'est transformé en une sorte de cabinet de conseil qui fournit des mesures et des services à la fois à l'assemblée des donateurs, au directeur général et aux bureaux régionaux. La première mission entreprise par ce bureau est l'unification des systèmes d'interventions, et la redéfinition des principes organisationnels pour réduire la fragmentation<sup>2</sup>, en lançant un vaste programme participatif dans ce sens. Le bureau d'appui est toujours impliqué dans le pilotage des interventions, mais à un niveau plus global, continental. En outre, il gère les relations de l'organisation au niveau international, et travaille comme un «apporteur d'affaires».

---

2. On peut noter qu'à cette occasion, Plan International réalise une forme de l'apprentissage en triple boucle du modèle d'Argyris et Schön.

## Chapitre 5

# Les comportements des acteurs : analyse et simulation de la régulation

### Table des matières

---

<b>5.1</b>	<b>Simuler la régulation des comportements pour explorer l'espace des configurations d'une organisation . . . . .</b>	<b>97</b>
5.1.1	La régulation des comportements dans une organisation . . . . .	97
5.1.2	L'exploration des configurations d'une organisation par simulation . . . . .	98
<b>5.2</b>	<b>Modèle et algorithme du comportement des acteurs sociaux . . . . .</b>	<b>98</b>
5.2.1	L'hypothèse de rationalité limitée . . . . .	98
5.2.2	Le processus de décision . . . . .	99
5.2.3	Le méta-objectif des acteurs sociaux . . . . .	100
5.2.4	La simulation du jeu social . . . . .	100
<b>5.3</b>	<b>L'algorithme d'apprentissage . . . . .</b>	<b>101</b>
5.3.1	L'ambition et le dilemme exploration/exploitation . . . . .	101
5.3.2	Les paramètres psycho-cognitifs d'un acteur . . . . .	102
5.3.3	Les variables de l'algorithme . . . . .	103
5.3.4	L'algorithme de délibération d'un acteur . . . . .	103
<b>5.4</b>	<b>Analyse des données produites par simulation . . . . .</b>	<b>105</b>
5.4.1	Format des résultats de simulation . . . . .	105
5.4.2	Analyse univariée des données . . . . .	105
5.4.3	Recherche de liens cachés entre les données . . . . .	106
5.4.4	Les modes de fonctionnement d'une organisation . . . . .	111
<b>5.5</b>	<b>Propriétés structurelles de la régulation d'une organisation. . . . .</b>	<b>111</b>
5.5.1	Interprétation de la dispersion des résultats de simulation et de la longueur des simulations . . . . .	111
5.5.2	Détection de coalitions potentielles . . . . .	113
<b>5.6</b>	<b>Étude du cas Plan International . . . . .</b>	<b>113</b>
5.6.1	Analyse des données de satisfactions des acteurs . . . . .	113
5.6.2	Analyse des données des états des relations . . . . .	118

---

Dans toute organisation sociale, les comportements des acteurs dans les relations qu'ils entretiennent les uns avec les autres sont relativement stabilisés. D'ailleurs, une organisation dans laquelle les comportements de chacun seraient erratiques et imprévisibles les uns vis-à-vis des autres ne saurait réaliser ses objectifs et donc perdurer. La stabilisation du comportement des acteurs est le résultat d'un processus que la SAO appelle la *régulation*, au cours duquel chacun ajuste son comportement à celui des autres de façon à se trouver dans une situation qui le satisfasse.

La modélisation de la structure d'une organisation sociale nous permet de simuler ce processus de régulation et donc de calculer quels comportements les acteurs sont susceptibles d'adopter les uns vis-à-vis des autres .

Le paradigme des systèmes multi-agents se prête bien à la simulation : les acteurs sociaux sont représentés par des agents qui jouent le jeu social, raisonnent et agissent localement sur les ressources du système, en l'occurrence les relations ; leurs interactions conduisent progressivement le système dans un état régulé. La simulation réalise ce qu'on pourrait appeler un «filtrage de vraisemblance» parmi l'ensemble des états, ou *configurations*, que définit la structure de l'organisation, en écartant celles qui, parce qu'elles constituent une situation inacceptable pour un ou plusieurs acteurs, ne seraient pas vivables. La simulation nous renseigne donc sur la faisabilité sociale des configurations de l'organisation. Le filtrage se fait sur la base de la satisfaction individuelle des acteurs : Il s'agit pour chacun d'obtenir une satisfaction individuelle qui soit suffisante, ce qui constitue le méta-objectif partagé par tous les acteurs.

Dans ce chapitre, nous commençons par montrer que l'exploration de l'espace des configurations d'une organisation est très instructive, notamment parce qu'elle permet de situer les caractéristiques des configurations calculées par la simulation dans le contexte de l'ensemble de toutes les configurations de l'organisation. Nous exposons ensuite les principes de la régulation du comportements des acteurs et la façon dont nous les avons modélisés. Puis nous décrivons l'algorithme proprement dit. Enfin, nous montrons comment l'analyse statistique des données produites par des expériences de simulation conduit à la mise en évidence de propriétés structurelles de l'organisation modélisée.

## 5.1 Simuler la régulation des comportements pour explorer l'espace des configurations d'une organisation

Dans [Varenne, 2011], il est rappelé que la simulation computationnelle est un «calcul approché et pas à pas d'un modèle formel préalablement établi» qui a pour objectif d'imiter le *comportement* d'un système cible réel. Sur la base du modèle de la structure des organisations sociales et du jeu social présenté au chapitre 3, la simulation de ce jeu social nous permet d'approcher de façon réaliste ou du moins vraisemblable le phénomène de *régulation des comportements*, constitutifs des organisations sociales.

### 5.1.1 La régulation des comportements dans une organisation

Dans les ouvrages fondateurs de la SAO, Crozier et Friedberg décrivent une organisation comme un ensemble structuré d'acteurs en situation d'interdépendance, dont les actions sont coordonnées par des «mécanismes de jeux relativement stables, et qui maintient sa structure [...] par des mécanismes de régulation» . Cette régulation s'opère «par des mécanismes de jeu à travers lesquels les calculs rationnels stratégiques se trouvent intégrés en fonction d'un modèle structuré» [Crozier and Friedberg, 1978].

Le méta-modèle du chapitre 3 décrit la structure des organisations sociales comme un ensemble d'objets mathématiques de façon statique : le modèle de la structure détermine le dispositif du jeu de régulation qu'évoque la SAO, et en fixe les limites. La définition du jeu social, elle, décrit la dynamique de ces mécanismes en fixant dans les termes du modèle les objectifs et les moyens d'actions des joueurs. Par la simulation de ce jeu, nous étudions l'émergence de la régulation, ce qui nous permet de caractériser la façon dont elle s'établit, et d'étudier les configurations régulées.

### 5.1.2 L'exploration des configurations d'une organisation par simulation

En simulant le déroulement du jeu social par un système multi-agents, l'espace d'état défini par la structure de l'organisation est exploré dynamiquement.

Rappelons brièvement les caractéristiques de ce jeu :

- Chaque acteur est un agent,
- Un agent agit sur l'état des relations qu'il contrôle,
- Un agent cherche à obtenir une bonne satisfaction,
- L'état du jeu est l'état des relations de l'organisation,
- Les actions des agents sont synchrones,
- Le jeu est joué jusqu'à ce que chaque agent obtienne un bon niveau de satisfaction.

Cette exploration n'est pas analytique, mais au contraire centrée sur les individus : les résultats d'une simulation sont le produit des interactions répétées entre les agents et sont fonction de leurs caractéristiques.

Dans notre cas, les interactions des agents consistent à ajuster leurs comportement les uns par rapport aux autres : chacun va déplacer l'état des relations qu'il contrôle, ce qui va modifier l'état du jeu et donc la satisfactions des autres acteurs, qui réagiront à leur tour en modifiant l'état des relations qu'ils contrôlent. Ce processus est répété jusqu'à atteindre un état *régulé*, où chaque acteur est satisfait et décide de ne plus modifier l'état de ses relations. Le résultat d'une expérience de simulation est donc une configuration dans laquelle l'organisation peut fonctionner, chaque acteur s'y trouvant suffisamment satisfait.

Si des configurations ont été retenues, c'est qu'elles présentent certaines propriétés que l'analyse *a priori* de l'organisation ne permettait pas forcément de pressentir : elles sont potentiellement acceptables par les acteurs. Cette propriété n'est pas calculable analytiquement, seule la simulation de la régulation permet de repérer les configurations qui la présentent.

D'autre part, on pourra comparer les configurations résultant de simulations avec les configurations remarquables identifiées dans la section 5 du chapitre 3, ce qui permet de les situer les unes par rapport aux autres, et d'examiner en quoi elles sont, elles aussi, remarquables.

## 5.2 Modèle et algorithme du comportement des acteurs sociaux

La SAO postule que les acteurs sociaux sont stratégiques, motivés par une visée non nécessairement explicite, et qu'ils exercent leur stratégie dans le cadre d'une rationalité limitée. Dans un premier temps, nous présentons le concept de rationalité limitée, puis nous détaillerons le processus de décision des acteurs. Nous exposerons ensuite la façon dont nous simulons la régulation du comportement des acteurs.

### 5.2.1 L'hypothèse de rationalité limitée

La rationalité limitée est un concept introduit par Herbert Simon [Simon, 1984]. Elle s'oppose au postulat de rationalité substantive traditionnellement utilisé en économie, et repose sur trois notions : *l'imperfection de l'information*, la *difficulté de l'anticipation* et le *nombre limité des comportements envisageables*.

Explicitons rapidement ces trois notions. Confronté à une situation dans laquelle il doit prendre une décision, un individu ne dispose que d'informations biaisées, fragmentaires pour analyser la situation. Ceci est particulièrement vrai dans le domaine du social, du fait de l'opacité de tout système social, du caractère plus ou moins implicite des règles, « toujours ambivalentes » selon Friedberg [Friedberg, 1993], et des différentes interprétations que chacun peut en faire [Roggero and Vautier, 2003]. Il est donc difficile pour l'acteur d'appréhender complètement les conséquences de ses actions.

Le comportement d'un acteur dans une telle situation relève essentiellement de l'intuition et de l'expérience. Dans [March and Simon, 1991], Simon montre que l'interaction entre stimuli et mémoire évoquée est un des traits prédominants de la prise de décision : un stimulus « provoquera [...] une

définition bien structurée de la situation qui comprendra un répertoire des schémas de réponses et des schéma permettant la sélection d'une réponse appropriée».

Il ne peut alors « concevoir qu'un nombre limité de solutions pour résoudre le problème auquel il doit faire face. Le champ des comportements possibles est donc limité, et souvent, la décision relève davantage d'une logique stimulus-réponse que de l'arbitrage raisonné entre plusieurs alternatives, basé sur une analyse rationnelle et parfaite » [Scieur, 2005].

Simon a aussi montré que l'homme « manifeste difficilement des préférences claires et cohérentes. Celles-ci peuvent évoluer au gré des circonstances, de ses perceptions ou encore de ses aspirations » [Scieur, 2005], ce qui rend d'autant plus difficile l'évaluation a priori des conséquences des alternatives qu'il est en mesure d'envisager.

Selon ces hypothèses, le comportement d'un acteur ne consiste pas à optimiser son choix vis-à-vis de ses *aspirations*, ne serait-ce que parce qu'il est peu capable d'en déterminer l'optimum ; mais à s'en tenir à la première solution « satisfaisante » qu'il rencontrera. Simon utilise le terme de "*satisficing*"<sup>1</sup> pour dénoter une situation suffisamment satisfaisante, combinaison des termes « satisfy » et « sufficing » [Simon, 1956].

L'algorithme dont les acteurs sont dotés pour jouer le jeu social implémente ces différents éléments en les dotant d'une vision locale et fragmentaire de la structure de l'organisation, d'une ambition non prédéfinie, évolutive et d'un processus de décision qui vise non pas une situation optimale mais une situation satisfaisante.

En effet, d'une part, un acteur ne connaît pas la structure de l'organisation dont il fait partie : connaître les relations de l'organisation, qui les contrôle, les enjeux de chacun et les fonctions d'effets reviendrait à raisonner en information complète et à déterminer *a priori* quel est l'état optimal du système au regard de ses objectifs. Ceci vaut pour les relations dont l'acteur dépend, et *a fortiori* pour celles dont il ne dépend pas. Nos acteurs sociaux se contentent donc de percevoir leur situation par la valeur de l'impact des relations dont ils dépendent.

Ensuite, les aspirations d'un acteur social (i.e. le niveau de réalisation de son méta-objectif qu'il estime suffisamment satisfaisant) étant dépendantes du contexte, le niveau d'aspiration d'un acteur n'est pas prédéfini, mais calculé dynamiquement sous la forme d'une variable l'*ambition*, mise à jour en fonction de la situation courante de l'acteur.

Lorsque tous les acteurs atteignent une situation satisfaisante, ils n'ont plus matière à modifier leurs comportements. La simulation peut s'arrêter, l'organisation est alors *régulée* .

### 5.2.2 Le processus de décision

Classiquement, le processus de décision est organisé selon les trois étapes suivantes :

1. la *perception* par l'individu de sa situation et de son contexte,
2. la *décision* : sélection parmi les actions envisageables de celle(s) qui semble la meilleure,
3. l'*action* : effectuer l'action sélectionnée (dans la mesure où elle est réalisable).

Selon Simon [Simon, 1984], un acteur sélectionne son action sur la base de son effet escompté [Simon, 1947], selon une rationalité *procédurale*, qui consiste à évaluer les possibilités d'action en fonction du contexte.

D'après [Parthenay, 2004], les acteurs délibèrent (rationalité procédurale) plus qu'ils ne calculent (rationalité substantive) selon le processus suivant :

1. l'identification des alternatives possibles dans le contexte courant,
2. la détermination des conséquences de ces alternatives,
3. la comparaison de l'efficacité de ces conséquences (au regard de l'objectif poursuivi),
4. sélection d'une alternative

---

1. On pourrait proposer la traduction approximative "satisfaisant", qui si elle n'est pas très jolie, a le mérite d'être originale et satisfaisante pour l'auteur.

Un acteur évalue dynamiquement les conséquences de ses actions et se construit, par l'expérience, une base de connaissances permettant d'associer à une situation l'action qu'il a intérêt à entreprendre. Pour modéliser ce processus, nous avons retenu la méthode d'apprentissage par renforcement [Sutton and Barto, 1998]. Il s'agit d'une méthode d'apprentissage non-supervisée dans laquelle l'acteur *expérimente* les conséquences des actions qu'il entreprend et associe au couple (*situation*, *action*) une certaine *efficacité* en comparant sa nouvelle situation par rapport à la précédente. La base de connaissances que se construit ainsi l'acteur est utilisée lorsque il se trouve dans une situation proche d'autres déjà rencontrées, lui permettant de classer les actions possibles selon leur efficacité apprise.

### 5.2.3 Le méta-objectif des acteurs sociaux

Selon la SAO, les acteurs d'une organisation sont stratégiques et ajustent leurs comportements de façon finalisée, c'est-à-dire en accord avec une certaine visée, « orientée de façon à atteindre un objectif personnel, compte tenu des contraintes de la situation » ([Erhard, 1988], cité dans [Scieur, 2005] p86 ). Dans le contexte organisationnel, où les acteurs sont interdépendants pour l'accès aux ressources nécessaires à la réalisation de leurs objectifs, et compte tenu du fait que chacun a intérêt au bon fonctionnement de l'organisation, les acteurs vont ajuster leurs comportements en cherchant à placer le système dans une configuration leur procurant le meilleur accès à ces ressources.

Nous avons modélisé la qualité de cet accès avec la capacité d'action. De façon à tenir compte des solidarités qu'un acteur peut entretenir d'autres, dimension essentielle du social, nous utilisons l'indicateur de satisfaction pour évaluer la situation d'un acteur. Dans ce cadre, l'objectif poursuivi par un acteur est de préserver ou d'améliorer sa satisfaction. Il s'agit du méta-objectif commun à tous les acteurs<sup>2</sup>.

### 5.2.4 La simulation du jeu social

L'algorithme de simulation du jeu social est ordonnancé par une boucle principale selon laquelle les acteurs sélectionnent leur action indépendamment les uns des autres.

Le test d'arrêt de la boucle principale correspond à l'obtention du méta-objectif que nous venons de voir.

---

**Algorithm 1** Pseudo-code de la boucle principale de l'algorithme de simulation. Tiré de [El Gemayel et al., 2011]

---

```

while un acteur n'est pas satisfait do
  for all acteur a do
    situation ← perception();
    actiona ← selection_action(situation);
  end for
  for all relation r do
    appliquer(r, actiona)
  end for
end while

```

---

Le fait qu'une relation soit contrôlée par un unique acteur permet de mettre à jour l'état de chaque relation sans gestion externe du système pour en assurer la cohérence, comme décrit dans la section 1.4 du chapitre trois<sup>3</sup>

---

2. Dans certains cas, et en connaissance de cause, le modélisateur peut décider de simuler le comportements des acteur avec un méta-objectif différencié, en choisissant par exemple de remplacer la satisfaction par l'influence, ou le pouvoir, pour déterminer dans quelles situations l'acteur s'estime "satisfait".

3. Le modèle peut cependant être étendu pour permettre le contrôle partagé des relations. Dans ce cas, les déplacement de l'état d'une relation par plusieurs acteurs seront appliqués au prorata de leur contrôle. Une alternative est de ne permettre qu'à un seul contrôleur de modifier l'état d'une relation par étape, et de répartir la fréquence à laquelle l'état peut être modifié entre les contrôleurs au pro-rata de leur contrôles.



Si, à une étape de cette boucle, tous les acteurs sont satisfaits, ils n'ont plus besoin de modifier leur comportement : la simulation a atteint un état stationnaire, l'organisation est régulée. Sinon, elle se poursuit et s'arrête, en tout état de cause, lorsqu'est atteint le nombre maximal d'étapes que l'expérimentateur aura défini.

La longueur des simulations et leur taux de convergence constituent un indicateur de la facilité qu'ont les acteurs à coopérer, sur lequel nous revenons dans la section 5.5.1.

L'algorithme ne converge pas systématiquement, notamment dans le cas des jeux à somme nulle, où, dès qu'un acteur gagne une certaine quantité de satisfaction, celle-ci est perdue par un (ou plusieurs) autre(s) acteur(s). Il est alors très peu probable que la satisfaction courante de chaque acteur dépasse son seuil d'ambition. Expérimentalement, on constate que l'algorithme converge mal dans le cas de tels jeux.

Plus généralement, quand les jeux ne sont pas à somme nulle, rien ne permet de prédéterminer que chacune des régulations d'une expérience de simulation va converger vers un optimum global (même si les résultats de cet algorithme sont généralement proches de l'optimum de Pareto), ni même au voisinage d'un seul état. Les organisations peuvent porter dans leur structure plusieurs potentialités [Barel, 1979], plusieurs modes de fonctionnement, susceptibles d'être atteints par cet algorithme<sup>4</sup>. Cela est notamment le cas de l'exemple traité dans [El Gemayel et al., 2011].

### 5.3 L'algorithme d'apprentissage

Pour décider de l'action à entreprendre, nous avons muni les acteurs d'un dispositif d'apprentissage par renforcement. Nous décrivons dans cette section le principe général de l'algorithme correspondant et l'influence de ses paramètres. Pour une description et une analyse plus fine de ses propriétés, on pourra se référer à [El Gemayel et al., 2011] et [El Gemayel et al., 2009].

Au cours de la simulation, un acteur maintient une base de règles qui lui indiquent l'action à entreprendre en fonction de sa situation courante. Il met à jour cette base en fonction des différentes situations auxquelles il est confronté et des conséquences plus ou moins heureuses des actions qu'il a entreprises. Une règle est un triplet (*situation*, *action*, *force*) où :

- la *situation* d'une règle est le vecteur des effets reçus par l'acteur pour chacune des relations dont il dépend,
- l'*action* est le vecteur des modifications des états des relations que l'acteur contrôle,
- la *force* est l'évaluation de l'efficacité de l'action vis-à-vis de la satisfaction de l'acteur.

Lorsque l'acteur rencontre une situation qui n'est pas référencée dans sa base de règles, il crée une nouvelle règle dont la situation est la situation courante, les modifications de l'action sont tirées aléatoirement, et la force initialisée à 0. Au début d'une régulation, sa base de règles étant vide, un acteur va donc créer des règles ; il s'agit de la phase d'exploration de l'espace des configurations. Au fur et à mesure que sa base de règles se constitue, l'acteur sera peu à peu confronté à des situations similaires à celles déjà rencontrées ; il peut alors exploiter la connaissance acquise et appliquer l'action d'une "bonne" règle correspondant à sa situation courante. Il s'agit alors de la phase d'exploitation.

#### 5.3.1 L'ambition et le dilemme exploration/exploitation

Comme dans tout problème d'apprentissage non-supervisé, se pose le dilemme de l'exploration/-exploitation : comment déterminer la longueur de la phase d'exploration, pendant laquelle l'acteur acquiert de la connaissance, et celle de la phase d'exploitation pendant laquelle il utilise la connaissance acquise pour décider comment agir ? Comment déterminer si l'acteur a "suffisamment appris" pour agir avec efficacité ?

Une sur-exploration présente le risque d'empêcher la régulation de converger, les acteurs s'entêtant à rechercher toujours ailleurs une situation optimale, tandis que la sur-exploitation aura pour conséquence

---

4. Il sera très intéressant de vérifier si ces zones de convergences appartiennent aux îlots de même niveau dans les paysages de satisfaction des acteurs, abordés dans le chapitre sept.

de converger dans la première situation correcte venue, et d'ignorer de meilleures alternatives.

Dans notre cas, le taux d'exploration/exploitation de chaque acteur est réglé par l'écart entre sa satisfaction et son *ambition*. Plus la satisfaction est en dessous de son ambition, plus l'acteur va explorer et à l'inverse, si sa satisfaction est proche ou supérieure à son ambition, il privilégiera l'exploitation. L'ambition d'un acteur est initialisée à la valeur maximale de sa satisfaction, et elle évolue au cours de la régulation en fonction des deux premiers paramètres psycho-cognitifs que nous présentons ci-dessous.

### 5.3.2 Les paramètres psycho-cognitifs d'un acteur

L'utilisation de sa base de règles par chaque acteur dépend de paramètres psycho-cognitifs qui permettent d'individualiser la façon dont chacun délibère. Les valeurs de ces paramètres sont fixées par le modélisateur selon les hypothèses qu'il veut tester.

#### La ténacité d'un acteur

La *ténacité* d'un acteur représente sa tendance à privilégier l'exploration ou l'exploitation. La ténacité est un entier compris entre 1 et 9. Un acteur tenace (9) aura tendance à explorer longtemps et intensément (cf l'intensité d'une action ci-dessous), tandis qu'un acteur peu tenace (1) aura tendance à exploiter rapidement.

#### La réactivité d'un acteur

La *réactivité* d'un acteur définit la prépondérance de l'expérience dans son apprentissage. C'est un réel défini sur l'intervalle  $[0,1]$ . Une grande valeur (1) correspond à un acteur sans mémoire qui mettra à jour son taux d'exploration et son ambition à partir de sa seule situation courante. Une valeur faible dénote au contraire d'un acteur qui attachera plus d'importance à son passé, et pour lequel la situation courante n'intervient que peu dans la mise à jour de son ambition et de son taux d'exploration.

#### Le discernement d'un acteur

Le *discernement* d'un acteur rend compte de sa capacité à discriminer les situations qu'il perçoit. Il détermine un seuil pour la distance euclidienne entre sa situation courante et celles enregistrées dans les règles de sa base, en dessous duquel deux situations seront considérées comme suffisamment proches pour qu'une règle puisse être appliquées. A chaque étape de la régulation, un acteur évalue la distance entre sa situation courante et la situation des règles de sa base. Si la distance est inférieure à ce seuil, ces règles sont considérées comme applicables, et l'acteur choisit aléatoirement l'une de celles dont la force est la plus élevée.

Le discernement est un entier compris entre 1 et 5 ; La valeur 5 correspond à un acteur perspicace, capable de classer les situations en cinq catégories : très mauvaise, mauvaise, neutre, bonne, très bonne. Un discernement de 1 correspond à un acteur pour lequel toutes les situations sont équivalentes.

#### La répartition de la rétribution

L'apprentissage par renforcement consiste à attribuer une récompense aux couples (état-action) qui conduisent l'agent dans une "bonne" situation. Lorsque les conséquences d'une action ne sont pas immédiates, il faut différer cette rétribution ; c'est dans ce but qu'est introduit le paramètre de *répartition*. Dans un jeu social, où les actions se déroulent de façon synchrone, la situation d'un acteur dépend largement des actions des acteurs qui contrôlent les relations dont il dépend. Ainsi, quand un acteur *a* entreprend une action à l'étape *t*, la conséquence de cette action sera perçue à l'étape *t* + 1. Si les autres acteurs décident de réagir à cette action, ils le font à l'étape *t* + 1, et *a* ne percevra l'effet de ces réactions qu'à la prochaine étape, à *t* + 2.

Le paramètre répartition d'un acteur indique le pourcentage de rétribution de la règle appliquée à l'étape *t* qui sera attribué aux étapes *t*+1 et *t*+2. Ce paramètre permet de définir des acteurs qui

ne prennent en compte que l'impact direct (i.e. rétribution majoritairement à  $t + 1$ , donc en fonction de l'impact sur eux-mêmes) de leur action, ou au contraire, des acteurs qui raisonnent en fonction de l'effet de leurs actions sur les acteurs dont ils dépendent (i.e. rétribution majoritairement à  $t + 2$ )<sup>5</sup>.

### 5.3.3 Les variables de l'algorithme

#### Le taux d'exploration

Le *taux d'exploration* d'un acteur détermine :

- la mise à jour de son ambition,
- la mise à jour de la force des règles appliquées,
- l'intensité de l'action d'une règle créée lorsqu'aucune n'est applicable.

Il varie en fonction de :

- l'écart entre la satisfaction courante de l'acteur et son ambition à l'étape précédente,
- la réactivité de l'acteur.
- la ténacité de l'acteur.

L'*écart* d'un acteur à l'étape  $t$  est la différence normalisée entre sa satisfaction et son ambition :

$$écart_t = \frac{ambition_{t-1} - satisfaction}{ambition_{t-1} - satisfaction_{min}}$$

Plus l'écart de l'acteur est faible, plus son taux d'exploration est faible : un acteur satisfait de sa situation ne cherchera pas à explorer. A l'inverse, plus l'écart est important, plus l'acteur aura tendance à explorer afin de réduire cet écart.

La réactivité de l'acteur fixe l'hystérésis de l'évolution du taux d'exploration à la variation de son écart : plus l'acteur est réactif, plus la variation de son taux d'exploration suivra de près celle de son écart.

Le taux d'exploration d'un acteur varie également en fonction de l'*écart*, selon un sigmoïde dont les paramètres dépendent de la ténacité de l'acteur, comme montré sur la figure ?? : plus un acteur est tenace, plus il a tendance à explorer.

#### L'ambition d'un acteur

L'*ambition* d'un acteur est initialisée à la valeur maximale de sa satisfaction, et sa variation dépend de la réactivité et de l'écart. Si la satisfaction de l'acteur est inférieure à son ambition, celle-ci diminue proportionnellement à son écart et son taux d'exploitation. Si la satisfaction de l'acteur est supérieure à son ambition, plus l'écart est important, plus l'ambition augmente.

#### La force d'un règle

La *force* d'une règle est une note qui évalue l'efficacité de l'action de la règle pour la poursuite de l'objectif de l'acteur. Initialisée à 0, elle est mise à jour tout au long de l'existence de la règle, et tient donc compte du passé de l'acteur. Sa mise à jour dépend :

- de sa valeur à l'étape précédente,
- du taux d'exploration,
- de la variation de capacité qu'a induit l'utilisation de la règle,
- de la répartition.

### 5.3.4 L'algorithme de délibération d'un acteur

Les paramètres et variables étant explicités, nous donnons ci-dessous la façon dont chaque acteur agit, au cours de la régulation :

---

5. Ces effets sont bien entendus bruités par les actions des acteurs dont ne dépend pas  $a$ , qui affectent les acteurs dont il dépend.

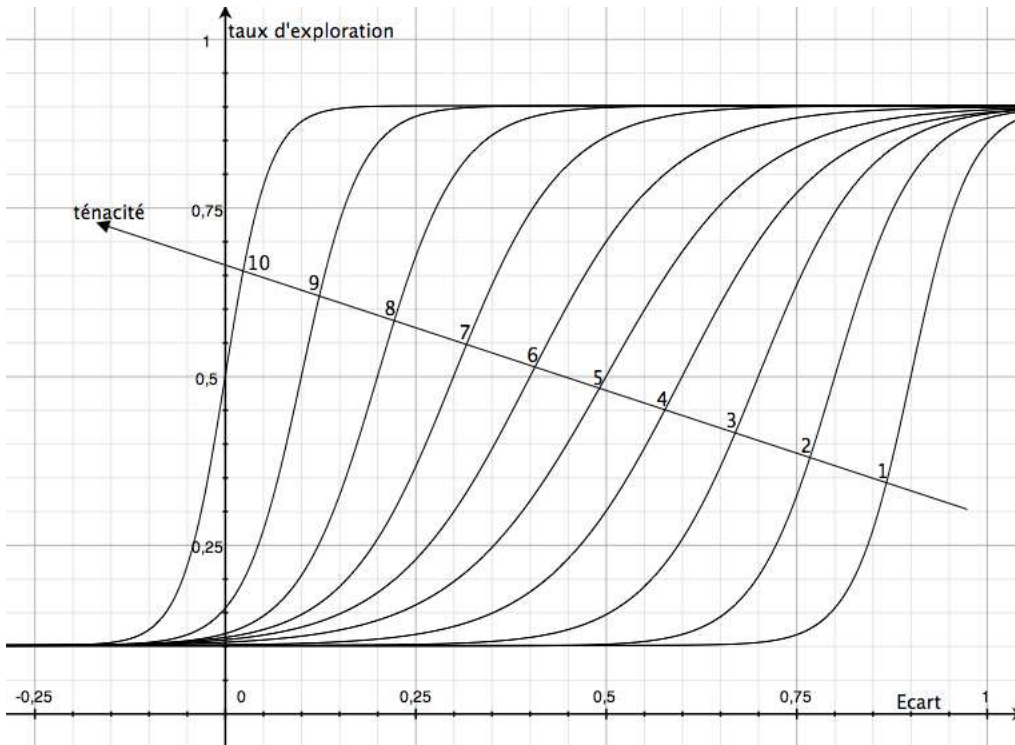


FIGURE 5.1 – Variation du taux d’exploration d’un acteur, en fonction de son écart et de la valeur de sa ténacité

---

**Algorithm 2** Algorithme de délibération d’un acteur au cours d’une régulation. Tiré de [El Gemayel et al., 2011]

---

- 1: Il perçoit sa satisfaction, calcule son écart et met à jour son ambition.
  - 2: Il met à jour son taux d’exploration en fonction de son écart, de sa ténacité, et de sa réactivité.
  - 3: Il met à jour l’intensité des actions en fonction de son taux d’exploration.
  - 4: Il met à jour la force de la dernière et de l’avant-dernière règles appliquées en fonction du taux d’exploration, de la variation de sa capacité et de la répartition. Les règles de force négative sont oubliées.
  - 5: Il sélectionne les règles applicables, celles dont la composante situation est proche de sa situation courante en fonction de son discernement.
  - 6: Si l’ensemble des règles applicables est vide (notamment au début de la simulation), il crée une nouvelle règle, avec une force initialisée à 0, la situation est la situation courante et l’action est choisie au hasard dans l’intervalle  $[-intensité ; +intensité]$ .
  - 7: Il choisit la règle nouvellement créée ou, parmi celles applicables, l’une dont la force est la plus grande. Lorsque que tous les acteurs ont choisi une règle, leurs actions sont appliquées.
-

Cet algorithme, tout en respectant l'hypothèse de rationalité limitée, produit des résultats proches des optima de Pareto, et présente la propriété de converger rapidement lorsque la structure du jeu valorise la coopération, et de ne pas converger lorsque les jeux sont à somme nulle. Cette propriété est particulièrement utile, car elle permet de mettre un modèle d'organisation à l'épreuve de la régulation, et de déterminer si une organisation conçue *a priori* pour favoriser la coopération, la valorise effectivement.

D'autre part, cet algorithme ne nécessite, pour chaque acteur, que très peu d'information : les acteurs fixent eux-mêmes leurs objectifs (leur ambition), sans connaître la structure de l'organisation, ni même leurs fonctions d'effets.

Il nous faut nuancer ce point : l'ambition d'un acteur est initialisée avec le maximum de sa satisfaction, ce qui suppose qu'il est capable d'évaluer ce à quoi il peut prétendre (sa capacité d'action maximale)<sup>6</sup>. La présence de solidarités suppose aussi que l'acteur est capable d'évaluer la capacité d'action courante des acteurs dont il est solidaire.

## 5.4 Analyse des données produites par simulation

La dimension stochastique de cet algorithme conduit à l'exécuter plusieurs fois pour réaliser une expérience de simulation. Il est donc assez naturel d'utiliser les outils de l'analyse des données pour en interpréter les résultats.

### 5.4.1 Format des résultats de simulation

Les résultats d'une expérience de simulation sont rassemblés dans un fichier qui contient, pour chaque exécution :

- la durée, en nombre de pas, de l'exécution,
- La valeur terminale de l'état de chaque relation,
- la valeur terminale de la satisfaction de chaque acteur,
- la valeur terminale de l'ambition de chaque acteur.

Le détail des phases d'exploration et d'exploitation semble difficile à interpréter. On ne s'intéresse qu'aux valeurs finales, qui correspondent à l'état régulé de l'organisation.

On distingue : les résultats relatifs aux relations (les valeurs des états) et les résultats relatifs aux acteurs (les satisfactions et ambitions).

Les valeurs de satisfactions des acteurs se déduisent analytiquement des valeurs des états. Il est donc inutile d'étudier les corrélations entre les variables des relations et les variables des acteurs. Nous nous concentrons sur les corrélations entre les variables des acteurs, les corrélations entre les variables des relations, l'allure de leurs distributions et l'influence de la longueur des simulations.

L'étude statistique de ces données a un double objectif : elle vise à découvrir des liens entre les variables, et à réduire la taille de l'espace des données pour n'en conserver que les plus explicatives. Avant de donner les techniques pour la rechercher ces liens et ces structures, nous abordons le cas de l'analyse d'une seule variable.

### 5.4.2 Analyse univariée des données

L'analyse univariée étudie la distribution des variables, indépendamment les unes des autres. Classiquement, l'analyse univariée utilise la moyenne, l'écart type, éventuellement la médiane, et les quartiles d'une variable représentés graphiquement au moyen des histogrammes (figure 5.2) et des boxplots (figure 5.3) de la variable.

Un boxplot (aussi appelé boîte à moustaches) permet d'observer la dispersion et la répartition des valeurs que peut prendre une variable par rapport à ses quartiles.

Un quartile est une des trois valeurs qui séparent la population des données en quatre parts égales. Le premier quartile est la valeur de la variable en dessous de laquelle se trouve un quart des individus

---

6. Hypothèse justifiée par « chacun, dans sa sphère, se rend vaguement compte du point extrême jusqu'où peuvent aller ses ambitions et n'aspire à rien au-delà » ([Durkheim, 1897] p. 23)

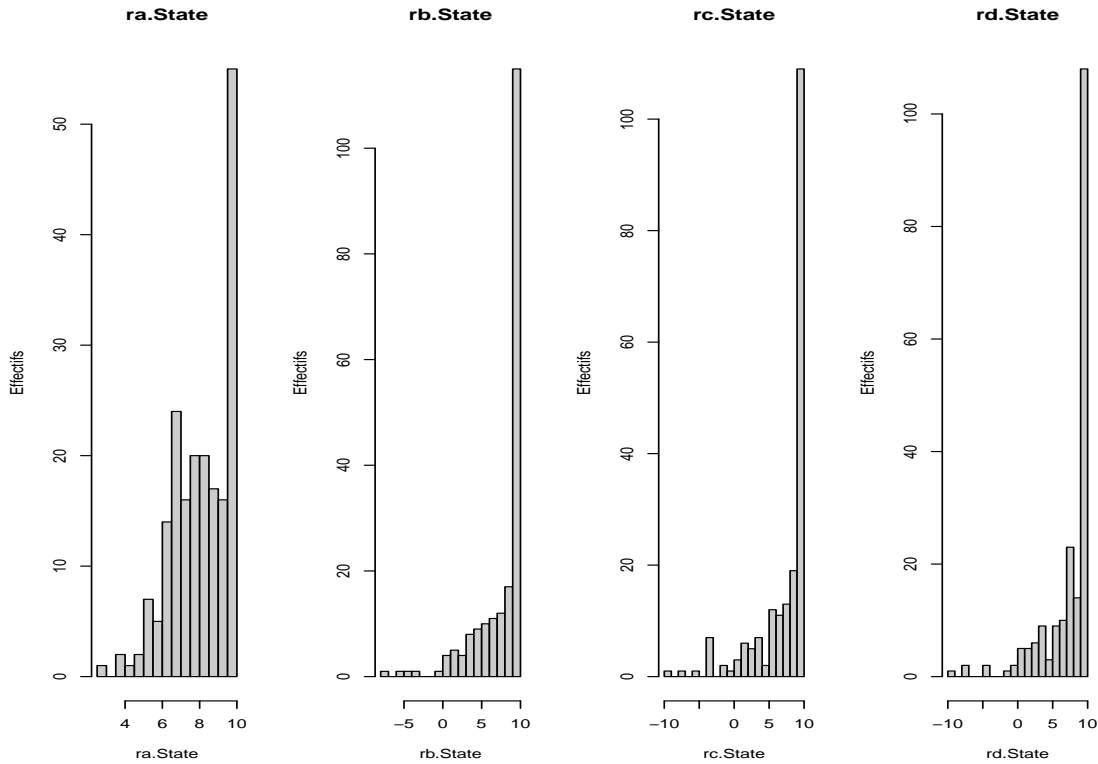


FIGURE 5.2 – Histogrammes des états de quatre relations

de la population. Le second quartile (ou médiane) est la valeur de la variable qui sépare la population en deux. le troisième quartile est la valeur de la variable en dessous de laquelle se trouvent 75% des individus.

Une forte variance de la satisfaction d'un acteur pourra s'interpréter comme une relative fragilité, indétermination de sa situation. Une forte variance sur l'état d'une relation offre de nombreuses interprétations : il s'agit d'une relation peu pertinente ou peu forte, dont les effets sur les acteurs sont peu importants ; le comportement de l'acteur qui contrôle cette relation est relativement imprévisible pour les autres, ce qui constitue une dimension du pouvoir selon la SAO ; l'acteur qui contrôle cette relation est indécis, cette relation est à ses yeux relativement ambivalente. Cette dernière interprétation serait confortée par le fait que l'instabilité de l'état de cette relation soit à l'origine d'une durée longue des simulations ; nous y reviendrons en 5.1.

### 5.4.3 Recherche de liens cachés entre les données

Il s'agit de mettre en évidence les corrélations entre les variables, corrélations qui pourront éventuellement être interprétées comme des causalités par l'analyste. Ces corrélations dépendent de la stratégie des acteurs dans l'ajustement de leur comportement, et ne peuvent pas être déduites des propriétés de la structure d'une organisation. Si les indicateurs structurelles nous indiquent l'importance relative des relations et acteurs de l'organisation, seule la simulation indique comment ces potentialités sont susceptibles d'être actualisées.

Détecter que la satisfaction d'un acteur est fortement corrélée à celle d'un autre acteur, alors que les positions structurelles de chacun n'ont aucun point commun et qu'ils n'entretiennent pas de solidarités met en évidence un «effet système» de l'organisation sur l'ajustement des comportements.

Pour découvrir ces éventuels effets, nous effectuons des régressions linéaires simples et multiples, soit entre les variables de relations, soit entre les variables d'acteurs.

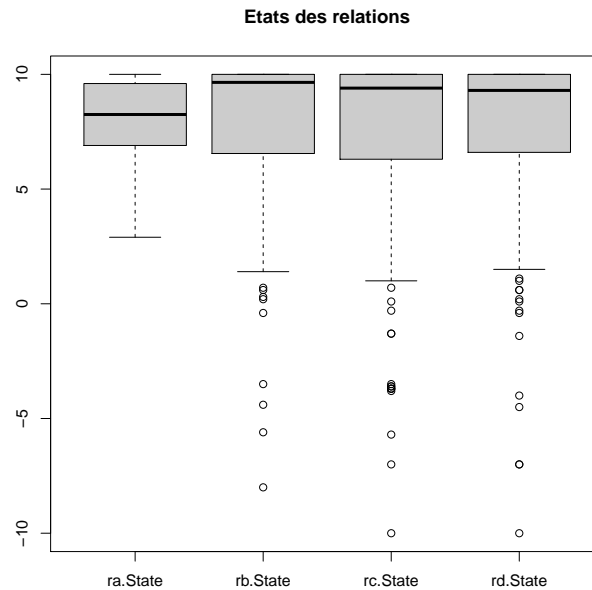


FIGURE 5.3 – boxplot des états de quatre relations

## Analyse bivariée des données

### Régression linéaire simple

L'analyse bivariée a pour objectif de qualifier la distribution d'une variable par rapport à une autre. Elle ne recherche que des relations linéaires entre les variables de la population : une relation plus complexe (exponentielle ou quadratique par exemple) entre deux variables ne sera pas détectée.

Le tracé du nuage de points des deux variables est l'étape préliminaire à cette analyse (cf figure 5.4). Ce tracé permet de déterminer les couples de variables pour lesquels il existe une certaine régularité linéaire dans la distribution de l'une par rapport à l'autre.

Lorsque c'est le cas, on procède à une régression linéaire entre les deux variables.

Ce procédé donne les coefficients de la droite affine qui explique le mieux le nuage de points des deux variables. L'une des variables est dite expliquée, on la notera  $y$ , l'autre est dite explicative, on la notera  $x$ . La régression linéaire permet de trouver les coefficients  $\alpha$  et  $\beta$  de la droite d'équation  $\hat{y} = \alpha x + \beta$  qui résume au mieux les informations du nuage de points. La valeur  $\hat{y}$  est la valeur prédite par le modèle linéaire pour une valeur de la variable  $x$ .

Le *coefficient de détermination*<sup>7</sup>, aussi appelé  $R^2$ , évalue l'efficacité du modèle linéaire à représenter le nuage de points.

$$R^2 = \frac{\text{var}(\hat{y})}{\text{var}(y)}$$

Ce coefficient est la part de variance prédite par  $\hat{y}$  par rapport à la variance observée de la variable  $y$ . Plus celle-ci est importante ( $R^2$  proche de 1), mieux le modèle prédit les valeurs que peut prendre la variable  $y$ . À l'inverse un modèle dont le  $R^2$  est inférieur à 0,5 prédit mal les valeurs de la variable  $y$ .

Dans notre contexte, une régression linéaire entre deux variables d'états ou de satisfactions permet de confirmer ou d'infirmer leur indépendance dans les résultats de simulation. La figure 5.4 montre le nuage de points des satisfactions de deux acteurs ainsi que la droite de régression linéaire entre ces deux variables<sup>8</sup>. Dans cet exemple, les satisfactions des deux acteurs sont très liées.

## Matrice de variance-covariance

7. Ce coefficient est donné par le logiciel R pour tout calcul de régression

8. Les résultats proviennent de simulations effectuées sur l'organisation présentée dans [El Gemayel et al., 2011]

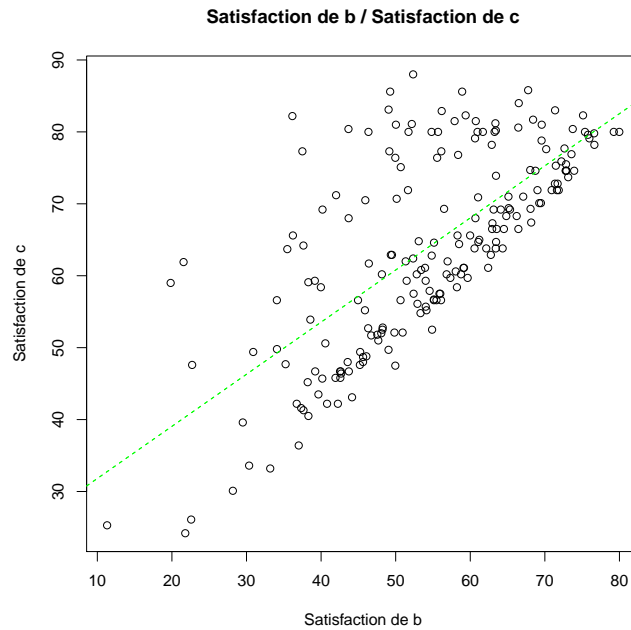


FIGURE 5.4 – Nuage de points et droite de régression linéaire entre les satisfactions de deux acteurs

La covariance de deux variables aléatoires  $x$  et  $y$  est définie comme le produit de l'écart entre les valeurs des variables et leur moyenne.

$$\text{cov}(x, y) = E[(x - E[x])(y - E[y])]$$

C'est une espérance qui s'interprète comme la tendance qu'auront les deux variables à s'éloigner de leur valeur moyenne de la même façon. Si  $\text{cov}(x, y)$  est positive et élevée,  $x$  et  $y$  diffèrent de leur moyenne dans le même sens. À l'inverse, si  $\text{cov}(x, y)$  est négative,  $x$  et  $y$  en diffèrent dans des sens opposés.

La matrice de variance-covariance mesure la variance «croisée» d'un vecteur de variables aléatoires. Le terme général de la matrice de covariance d'un vecteur de  $n$  variables aléatoires  $x_i$  est  $\text{cov}(x_i, x_j)$ . La matrice est donc carrée, symétrique et les termes diagonaux sont constitués de la variance de chaque variable.

On pourra utiliser cette matrice pour détecter des tendances plus ou moins marquées dans les variations conjointes des variables de relations ou d'acteurs. Par exemple si la covariance de deux variables d'états de relations est très marquée, on pourra en déduire que les états tendent à varier de la même façon.

## Analyse multi-variée des données

Nous employons deux techniques distinctes pour l'analyse multi-variée des données : la *régression linéaire multiple* et l'*analyse en composantes principales*.

### Régression linéaire multiple

La régression linéaire multiple est la généralisation de la régression linéaire à des n-uplets de variables. Elle vise à expliquer la distribution d'une variable  $y$  par une combinaison linéaire d'autres variables  $x_i$  (dites explicatives). Son objectif est double : elle cherche à la fois à trouver un bon modèle de prédiction des valeurs de  $y$ , mais aussi à déterminer parmi les variables  $x_i$  celles dont l'effet est le plus significatif sur la valeur de  $y$ .

Le modèle que produit une régression linéaire multiple est de la forme :

$$\hat{y} = \sum \alpha_i x_i + \beta$$



Le nombre de variables explicatives n'est pas fixé dans cette méthode. Pour une population d'individus à  $n$  variables, on procède de façon itérative, en partant d'un modèle linéaire à  $n - 1$  variables, auquel on enlève la variable  $x_i$  la moins significative à chaque itération, jusqu'à ne conserver que des variables significatives. La significativité d'une variable est estimée par sa *p-value* : plus celle-ci est faible plus la variable est significative. Une variable est considérée comme significative si sa *p-value* est inférieure à 0.05.

La qualité des modèles ainsi obtenus est évalué par deux critères : le  $R^2$  et le  $R^2_{ajusté}$ . Le  $R^2$  ajusté est un critère qui évalue la qualité d'un modèle de la même façon que le  $R^2$  mais qui de plus prend en compte le nombre de variables du modèle selon le *principe de parcimonie* : l'objectif est d'obtenir un modèle dont le  $R^2$  est élevé, mais avec le moins de variables possible. Il s'écrit :

$$R^2_{ajusté} = \frac{(n - 1)R^2 - p}{n - p - 1}$$

où  $p$  est le nombre de variable explicatives du modèle évalué, et  $n$  le nombre de variables de la population. On ne considère que les modèle dont le  $R^2$  et le  $R^2_{ajusté}$  sont suffisamment élevés.

### Analyse en composantes principales (ACP)

L'ACP est une méthode qui consiste à extraire d'un ensemble de variables corrélées un nombre restreint de nouvelles variables indépendantes : les composantes principales qui sont des combinaisons linéaires des variables initiales. L'ACP est une méthode descriptive : elle structure et résume l'information contenue dans les données, et procède de façon à ce que la perte d'informations résultante soit la plus faible possible. Les composantes principales forment une base dans laquelle les données sont représentées de la façon la plus révélatrice possible de leur variance.

Pour déterminer la pertinence d'une composante principale, on calcule la proportion d'inertie totale expliquée par (la valeur propre de) cette composante. L'inertie totale rend compte de la dispersion des données de la population et est égale à la somme des variances des variables étudiées. Les composantes principales sont classées par ordre de pourcentage d'inertie totale expliquée décroissant, et généralement, on considère les premières composantes principales jusqu'à ce que le pourcentage cumulé d'inertie expliquée dépasse 80%.

Une ACP donne aussi la corrélation entre les variables initiales et les composantes principales. Plus la corrélation est forte plus la variable initiale est «importante» dans la composante.

### Représentations graphiques des résultats d'une ACP

Lorsque les deux premières composantes d'une ACP sont significatives, nous pouvons en donner deux représentations graphiques.

La première est la projection des données dans un repère formé des deux axes associés aux deux premières composantes principales (voir figure 5.5).

Cette représentation permet de mettre en évidence des classes différentes dans la population des simulations, lorsqu'il en existe.

Une autre représentation des résultats d'une ACP est la représentation des variables dans un repère, muni d'un cercle lorsque les variables sont réduites (appelé cercle de corrélation), et dont les deux axes sont les deux premières composantes principales (voir figure 5.6) Dans ce repère chaque variable initiale est représentée par un point dont les coordonnées mesurent sa contribution à chacun des axes.

Dans ce type de représentation, un point est d'autant plus proche du cercle que la variable est bien représentée par les deux premières composantes principales. L'angle formé par deux variables est d'autant plus faible que les variables sont fortement corrélées. La figure 5.6 est un exemple de cette représentation, issue d'une ACP pratiquée sur les variables de satisfactions de quatre acteurs,  $a$ ,  $b$ ,  $c$  et  $d$ , du modèle présenté dans [El Gemayel et al., 2011]. Dans cet exemple, on peut voir que chacune des satisfactions est bien représentée par les deux premières composantes (leurs points sont proches du

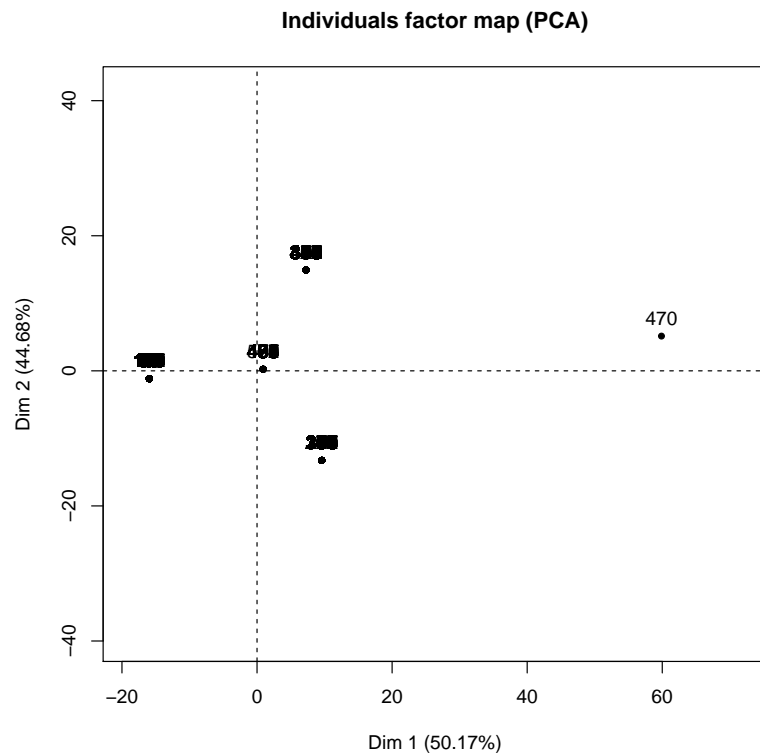


FIGURE 5.5 – Nuage de points dans le plan formé des deux premières composantes principales (variables d'états des relations).

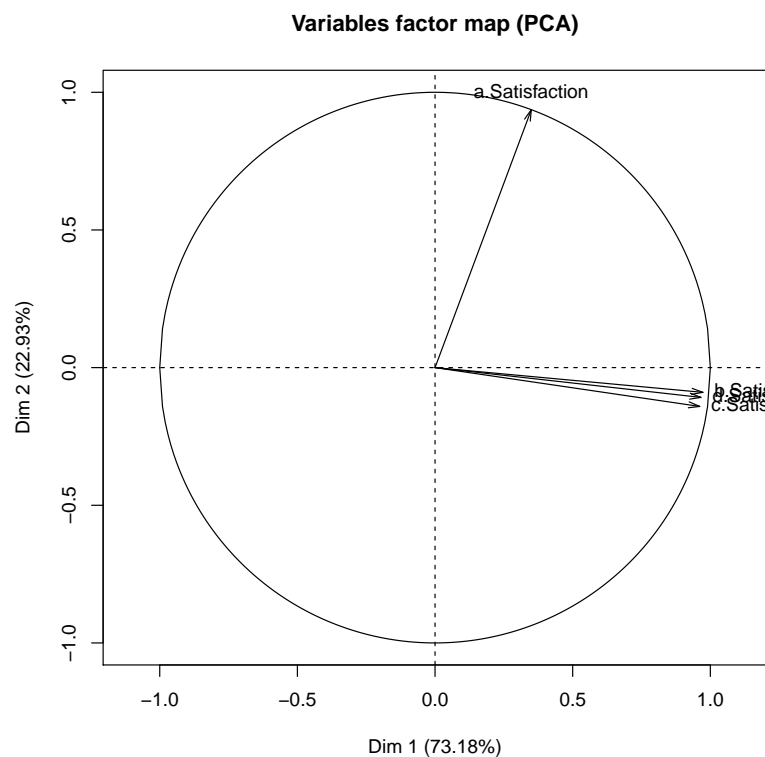


FIGURE 5.6 – Positionnement des variables de satisfaction dans un cercle de corrélation

cercle). D'autre part, on remarque que les satisfactions  $b, c$  et  $d$  sont très corrélées, et indépendantes de celle de l'acteur  $a$ .

#### 5.4.4 Les modes de fonctionnement d'une organisation

Par structures cachées, nous entendons l'existence de clusters, ou classes, dans le nuage de points des individus de la population. Plus particulièrement, on s'intéresse aux clusters dans les nuages de points des variables de relations, qui témoignent de modes de régulations différenciés.

Ces clusters mettent en évidence un autre «effet système», pour lequel on peut supposer cette fois qu'il existe un fondement structurel : la structure d'une organisation peut présenter plusieurs alternatives à la régulation, quitte à en favoriser certaines au détriment d'autres. La taille (en nombre d'observations) de ces clusters s'interprète alors comme la plausibilité sociale de la configuration : une classe d'états est d'autant plus plausible qu'un grand nombre de régulation y convergent.

L'exemple d'organisation traité dans [El Gemayel et al., 2011] illustre cet effet par la mise en évidence de quatre configurations différentes vers lesquelles converge la régulation, qui s'interprètent comme autant de modalités de fonctionnement de l'organisation, cf. figure 5.5. L'existence de tels clusters, peut être révélée par une ACP sur les variables des relations pour tracer le nuages de points dans le repère formé des deux première composantes (sous réserve que le pourcentage de variance expliquée soit suffisant). Le tracé de l'histogramme des variables de chaque relations peut également, dans une moindre mesure, révéler l'existence de clusters dans les données.

Si l'existence de clusters a été constatée, leurs caractéristiques peuvent être étudiées au moyens de techniques de classification non supervisée (cartes de kohonen, K-means, Maximum de vraisemblance). Il n'existe pas de moyen déterminer a priori le nombre de clusters d'un nuage de points. Il faudra donc procéder par essai-erreur jusqu'à trouver la classification de meilleure qualité possible.

La recherche de clusters doit être effectuée avant de mesurer la dispersion des données résultats : si la distribution d'une variable présente plusieurs clusters dont la variance intra-classe est faible et les centres éloignés, sa variance globale sera élevée, et les régressions linéaires échoueront à l'expliquer. Si des clusters ont été mis en évidence, les analyses statistiques devront être menées séparément sur les individus de chaque classe pour avoir du sens.

### 5.5 Propriétés structurelles de la régulation d'une organisation.

Indépendamment des niveaux de satisfaction obtenus par les acteurs lors d'une expérience de simulation, la dispersion des variables et la longueur des simulations nous révèle des propriétés sur la façon dont une organisation peut être régulée, sa « régulabilité » (!). Il s'agit bien de propriétés structurelles dans la mesure où c'est l'espace entier des configurations de l'organisation qui est exploré lors des simulations.

#### 5.5.1 Interprétation de la dispersion des résultats de simulation et de la longueur des simulations

La dispersion d'une variable est évaluée par sa *variance*, les caractéristiques de cette dispersion sont obtenues en effectuant une analyse univariée de cette variable et en traçant son histogramme.

La dispersion des variables de relations s'interprète comme le degré de «déterminisme» d'une organisation par rapport à la régulation des comportements. Lorsqu'elle est très faible, cela signifie que le jeu social se régule toujours de la même façon, et se stabilise dans un faisceau restreint d'états. A l'inverse, une forte dispersion indique que le jeu social, en se stabilisant dans des configurations diverses, est peu contraint et n'empêche pas les acteurs d'adopter des comportements hétérogènes au cours d'une expérience de simulation.

Il faut cependant que la dispersion soit évaluée de façon conjointe avec le nombre de pas nécessaires à la convergence. Ce nombre rend compte de la facilité à trouver comment coopérer : un nombre de pas très élevé indique que la coopération est difficile au sein du organisation, les acteurs peinant à trouver comment ajuster leur comportement d'une façon qui les satisfasse tous.

Enfin, l'existence éventuelle de clusters peut conduire à des cas où les variables de relations sont dispersées, sans que les variables relatives aux acteurs le soient.

Ceci nous amène à distinguer trois facteurs pour l'analyse de la dispersion des données : la rapidité (en nombre de pas de simulation) de la convergence, la variance des états des relations, et la variances des satisfactions des acteurs. Nous rassemblons l'interprétation des différents cas de figure dans le tableau ci dessous :

		convergence rapide	convergence lente
faible $Var(satisfactions)$	faible $Var(états)$	structure déterministe simple	structure déterministe complexe
	forte $Var(états)$	structure multimodale simple	structure multimodale complexe
forte $Var(satisfactions)$	faible $Var(états)$	impossible	impossible
	forte $Var(états)$	anomie (improbable)	anomie

TABLE 5.1 – Interprétation conjointe de la dispersion des résultats d'une expérience de simulation et de la rapidité de sa convergence.

Puisque les satisfactions sont calculées à partir des valeurs des états des relations, il n'est pas possible que les satisfactions soient dispersées si les états des relations ne le sont pas. Lorsque les états et les satisfactions sont simultanément très dispersés, on ne peut pas dire que la régulation ait eu lieu, ni en tirer d'interprétation pertinente. Ce phénomène peut refléter une certaine anomie de l'organisation, trop peu structurante pour que se dégage un quelconque mode de fonctionnement au terme des régulations.

Lorsque les satisfactions sont peu dispersées, et que les états des relations sont également peu dispersés, si le nombre de pas nécessaires à la convergence est élevé, cela indique que la structure de l'organisation est complexe, au sens où l'ajustement des comportements vers une configuration stabilisée se fait au terme d'une longue régulation dans laquelle les acteurs peinent à trouver le comportement qui les satisfasse. La structure est cependant déterministe : les acteurs finissent par réguler leur comportement dans des configurations sensiblement identiques (ce que reflète la faible variance des états). Si le nombre de pas nécessaires à la convergence est faible, cela dénote que la structure est bien comprise par les acteurs, qui trouvent rapidement comment coopérer, et toujours de la même façon : la coopération s'impose d'elle même.

Lorsque les satisfactions sont peu dispersées, les états très dispersés, et le nombre de pas élevé, l'interprétation est plus délicate. La forte variance des états alors que les satisfactions sont peu dispersées indique qu'il existe de nombreuses configurations équivalentes en termes de satisfactions obtenues, mais que celles-ci sont difficilement atteintes par les acteurs : la structure de l'organisation est complexe mais présente plusieurs alternatives satisfaisantes pour les acteurs. L'organisation est dite *multimodale*. Si au contraire le nombre de pas avant convergence est faible, cela indique que la polyvalence de la structure est bien comprise par les acteurs, et que ceux-ci trouvent rapidement comment coopérer, mais qu'il n'existe pas de modalité de fonctionnement prépondérante.

La forte variance des variables d'états des relations peut être causée par plusieurs facteurs relatifs à la structure de l'organisation.

Tout d'abord, la populations des variables d'états peut être répartie en plusieurs clusters, ce qui produit une variance globale élevée. Il faudra donc détecter les éventuels clusters dans la population de variables au préalable, et s'il y en a, considérer uniquement la variance intra-classe pour affiner l'analyse. Cet effet système peut être relié au fait que l'organisation présente plusieurs îlots dans les paysages de satisfactions des acteurs, de niveau égal à celui atteint à la fin d'une régulation (voir le chapitre sept pour la définition des paysages et des îlots de satisfaction).

D'autre part, la structure de l'organisation peut être peu contraignante pour les acteurs, et offrir de vastes secteurs de l'espaces des configurations dans lesquels les acteurs sont satisfaits, et où les modifications de leur comportements n'entraînent pas de baisse sensible de leur satisfaction. Dans de telles organisations, les paysages de satisfactions sont de forme que l'on peut qualifier de conciliante, en «haut plateau», peu escarpés et avec un niveau général de satisfaction élevé.

Nous pouvons pousser l'interprétation de la variance des états des relations un peu plus loin, pour la rapprocher de l'imprévisibilité du comportement d'un acteur. C'est de cette imprévisibilité

que provient le pouvoir d'un acteur : son comportement étant peu dépendant de celui des autres, il complique la tâche des acteurs qui en dépendent dans la détermination de leur propre comportement en augmentant l'incertitude de leur environnement.

Nous ne pouvons pas affirmer que la variance des états résultats d'une expérience de simulation soit strictement équivalente à l'imprévisibilité du comportement d'un acteur : plusieurs facteurs concourent à la variance de l'état d'une relation. Dans le cas de régulations dont le nombre moyen de pas nécessaire à la convergence est très élevé, la stabilisation étant difficile à atteindre, comment savoir si la variance de l'état de la relation n'est pas simplement due aux tentatives exploratoires de régulation qui se sont révélées infructueuses ? Dans le cas où l'on observe une forte variance pour les états de toutes les relations, comment déterminer si la variance d'une relation particulière reflète l'incertitude du comportement d'un acteur ou est simplement la conséquence d'une organisation très peu contraignante ? Si la variance de l'état d'une relation est élevée mais que les variances des autres variables sont faibles, peut-on en déduire que le pouvoir du contrôleur est effectif, sachant que son exercice ne se traduit pas par des conséquences notables pour le reste du système ?

### 5.5.2 Détection de coalitions potentielles

Calculer la matrice de covariance des variables de satisfaction des acteurs permet de détecter ceux dont les satisfactions varient de façon similaire ou opposée. Du fait de l'interdépendance des acteurs dans l'organisation, la covariance de leurs satisfactions ne devrait jamais être nulle, leurs satisfactions respectives étant liées par le jeu social. En revanche, leur covariance peut être positive ou négative et révéler ainsi des groupes au sein des acteurs. On peut interpréter les satisfactions dont les covariances sont positives et significatives comme celles d'acteurs qui ont les mêmes intérêts, dont les satisfactions varient de la même façon lors des différentes régulations, et donc sont susceptibles de constituer une coalition. Si les satisfactions de deux acteurs ont des covariances négatives, leurs satisfactions varient de façon inverse : quand l'un est plus satisfait qu'en moyenne, l'autre a tendance à l'être moins.

Les mesures de covariance permettent ainsi de mettre en évidence des groupes d'acteurs dont les satisfactions fluctuent de la même façon ou de façon inverse, et donc dont les intérêts s'avèrent convergents ou divergents.

## 5.6 Étude du cas Plan International

Nous allons maintenant mettre en application ces outils sur les données des expériences de simulations pratiquées sur les deux modèles de la structure de Plan International, présentés au chapitre quatre. Les données sont issues d'expériences de 200 régulations. Nous nous concentrons sur l'opposition identifiée entre les deux groupes (BR,DL2) et (DG,DL1,BR), et ne prendrons donc pas en compte les données de satisfactions du Board de donneurs BD et de la communauté de bénéficiaires COM. Nous commençons par analyser les données de satisfaction des acteurs, avant de nous intéresser aux états des relations.

### 5.6.1 Analyse des données de satisfactions des acteurs

Les résultats et graphiques de cette section sont obtenus avec le logiciel d'analyse statistique **R** et le package **FactoMineR**.

#### Modèle 1

Commençons par observer la dispersion des satisfactions des acteurs, en traçant leurs histogrammes ainsi que celui du nombre de pas (noté "nbstep" dans toutes les figures de cette section) nécessaires pour que la régulation converge.

On constate que les satisfactions des acteurs varient peu, la variable qui varie le plus est celle du nombre de pas. Afin de vérifier si la longueur des régulations a une influence sur les satisfactions qu'obtiennent les acteurs, nous allons d'abord examiner leur corrélation, avant de pratiquer une ACP.

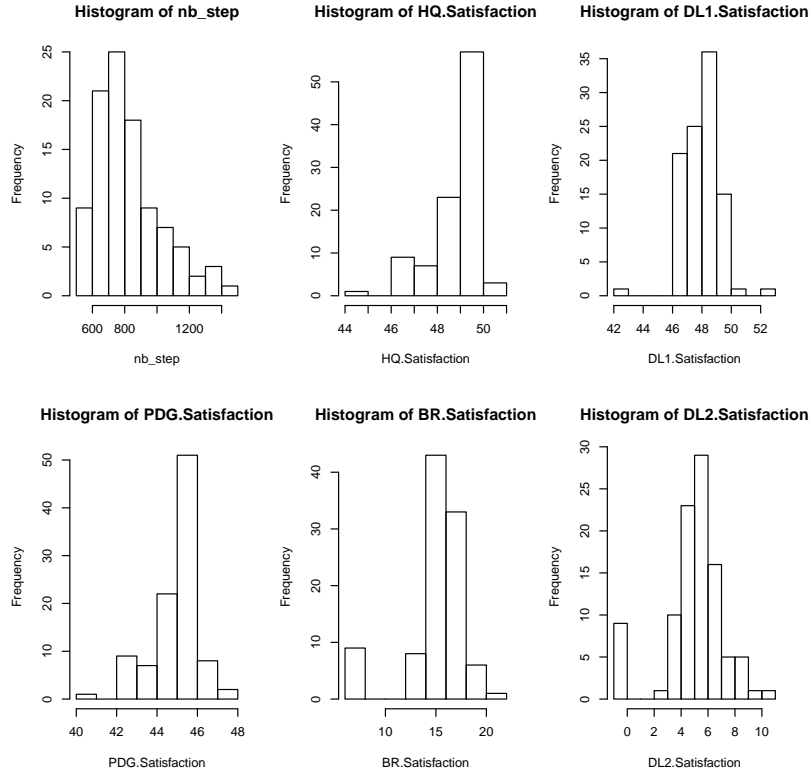
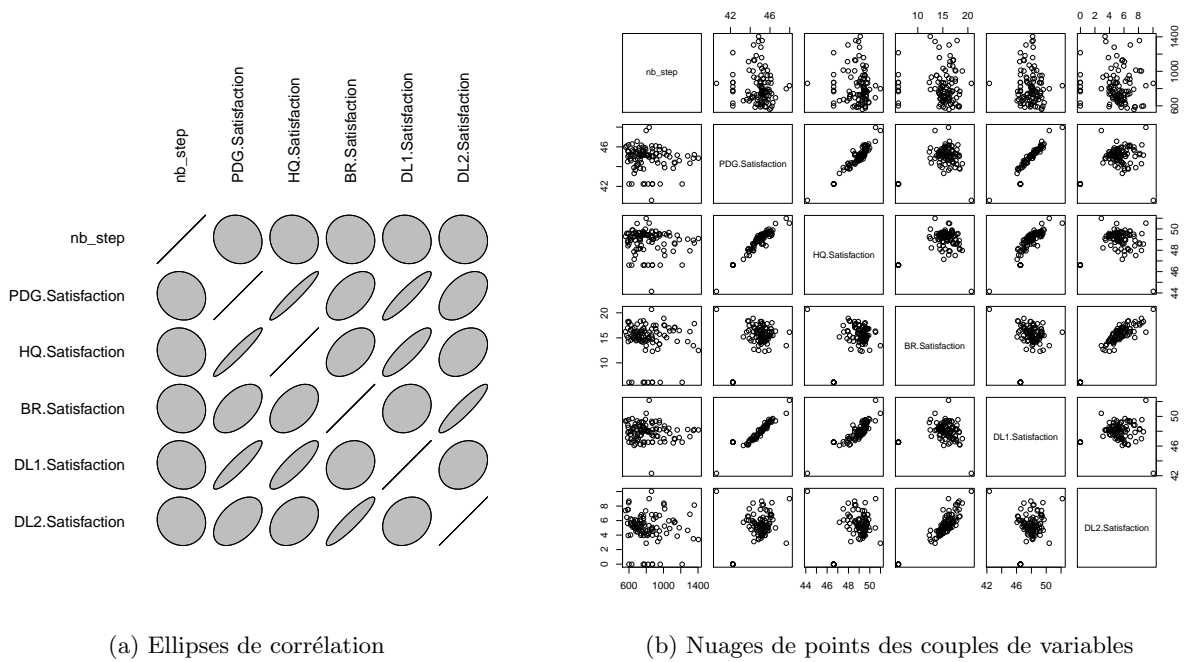


FIGURE 5.7 – Histogramme des satisfactions des acteurs et du nombre de pas nécessaire pour la régulation, pour le modèle 1

La figure 5.8a représente les corrélations de variables par des ellipses dont la taille est inversement proportionnelle à leur corrélation, et la figure 5.8b le nuage de points de deux variables.



(a) Ellipses de corrélation

(b) Nuages de points des couples de variables

FIGURE 5.8 – Analyse bivée des satisfactions des acteurs et du nombre de pas de simulation, pour le modèle 1

On constate à la lecture de ces deux graphiques que les satisfactions de HQ,DG et DL1 sont très

corrélées, de même que les satisfactions de BR et DL2. La longueur de la simulation est très peu corrélée avec les satisfactions qu'obtiennent les acteurs au terme de la régulation, si ce n'est qu'elle diminue les satisfaction de HQ, DG et DL1. Pour s'en assurer nous allons pratiquer une ACP sur les données.

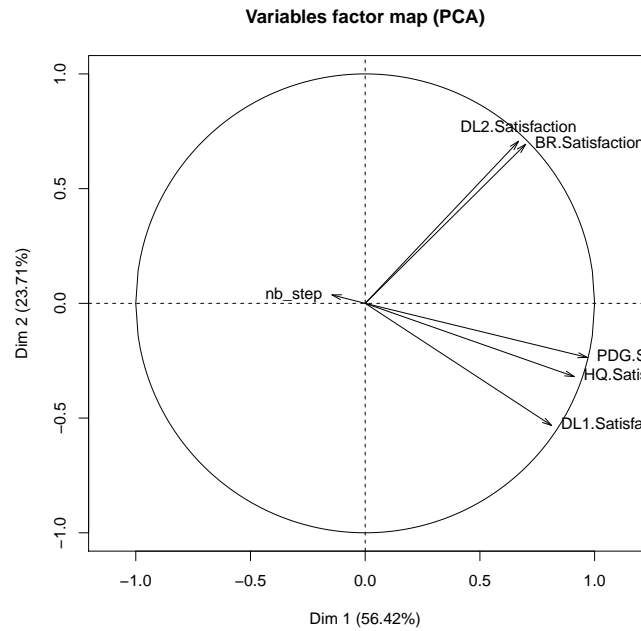


FIGURE 5.9 – Cercle de corrélation obtenu par l'ACP des variables de satisfaction et de nombre de pas de simulation, pour le modèle 1

Les deux premières composantes de cette ACP expliquent 80% de l'inertie des données. La figure 5.9 présente le cercle de corrélation qui résulte de cette ACP. La variable *nbstep* est peu significative, elle explique peu la variance des données de l'expérience (le point est très proche du cercle). Les satisfactions de HQ, DG et DL1 sont bien expliquées par cette ACP, et on constate qu'elles sont effectivement corrélées, tout en étant indépendantes des satisfactions de BR et DL2, elles aussi bien corrélées entre elles.

Comme le nombre de pas explique peu la variance des données, et qu'il est peu corrélé aux satisfactions, nous allons retirer cette variable pour gagner en précision et pratiquer une seconde ACP.

Cette seconde ACP explique 95% de l'inertie des données. À la lecture de ce second cercle de corrélation, figure 5.10, nous pouvons confirmer que les satisfactions des deux groupes sont indépendantes, du point de vue de la corrélation : leurs vecteurs sont presque orthogonaux. Nous donnons table 5.2 la matrice de covariance des satisfactions, afin d'examiner leur degré de dépendances.

	DG	HQ	BR	DL1	DL2
DG	1.43	1.22	1.92	1.30	1.19
HQ	1.22	1.15	1.54	1.09	0.72
BR	1.92	1.54	9.86	0.60	5.98
DL1	1.30	1.09	0.60	1.43	0.54
DL2	1.19	0.72	5.98	0.54	4.31

TABLE 5.2 – Matrice de covariances des satisfactions des acteurs, pour le modèle 1

À la lecture de la table 5.2, on constate tout d'abord que les variances des satisfactions de ces cinq acteurs sont relativement indépendantes dans les données, sauf celles des acteurs DL2 et BR.

Les satisfactions qui semblent le plus indépendantes, relativement aux autres, sont les satisfactions de DL1 et DL2 (0.54), ce qui s'interprète par le fait que ces deux acteurs tirent leur satisfactions de relations différentes, avec peu d'interférences entre elles. Inversement, les satisfactions de DL2 et BR

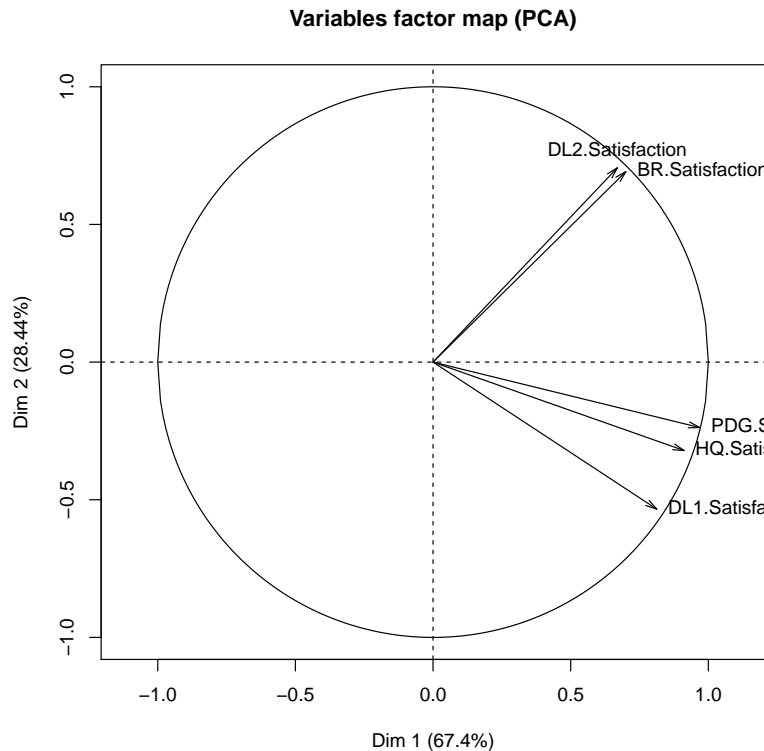


FIGURE 5.10 – Cercle de corrélation obtenu par l’ACP des variables de satisfaction, pour le modèle 1

dépendent beaucoup l’une de l’autre (5.98) : les situations des deux acteurs du groupe sont très liées dans les données de simulations.

Cette analyse des satisfactions confirme la répartition des acteurs en deux groupes qui s’opposent, exposée au chapitre quatre. Nous allons maintenant procéder à la même analyse, sur les données de simulation du modèle 2.

## Modèle 2

Les histogrammes des satisfactions des acteurs et du nombre de pas de simulation sont présentés figure 5.11.

Comme dans les données du modèle 1, les satisfactions des acteurs varient peu. Le nombre de pas de simulation varie, mais comme précédemment, la matrice de corrélation (cf. figure 5.12a) et le tracé des nuages de points (cf. figure 5.12b) indiquent que le nombre de pas de simulation n’est pas corrélé avec les autres variables.

Les satisfactions des acteurs DG, HQ et DL1 restent assez corrélées. Les satisfaction de DL2 et BR, en revanche sont beaucoup moins corrélées que dans le modèle 1, ce qui peut paraître étrange. Nous pouvons seulement conclure que, si les satisfactions de ces deux acteurs sont sans doute liées, elles ne le sont pas linéairement. On peut également constater une légère corrélation entre les satisfaction de DL2 et DL1.

L’ACP pratiquée sur les satisfactions et le nombre de pas de simulations indique, comme pour le modèle 1, que le nombre de pas de simulations est très peu significatif pour expliquer la variance des données. Nous donnons donc directement le cercle de corrélation obtenu par une ACP pratiquée sur les variables de satisfaction des acteurs.

Les deux premières composantes expliquent 80% de l’inertie des données. On constate que globalement, les satisfactions des acteurs deux groupes restent peu corrélées. Par rapport au modèle 1, les satisfactions de DG, HQ et DL1 sont moins corrélées les unes avec les autres. Nous ne pouvons pas en



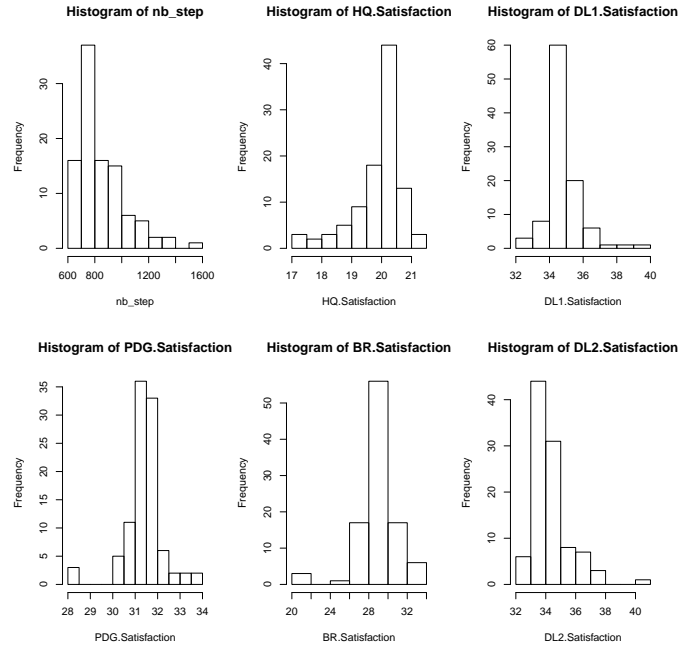
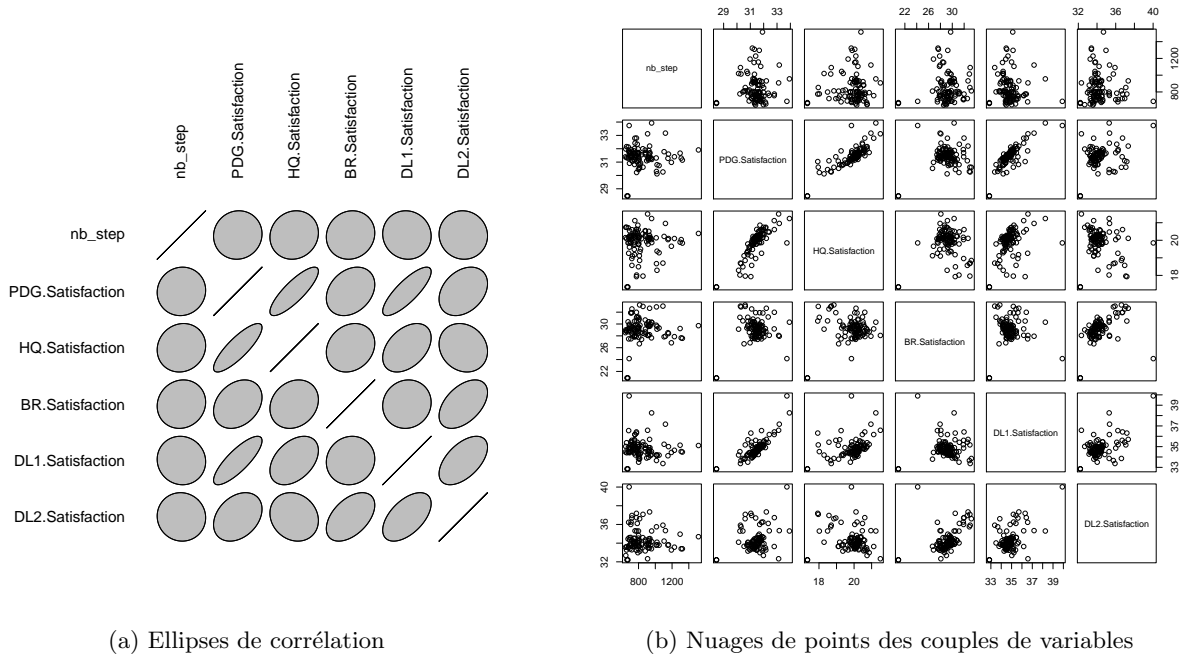


FIGURE 5.11 – Histogrammes des satisfactions des acteurs et du nombre de pas nécessaire pour la régulation, pour le modèle 2



(a) Ellipses de corrélation

(b) Nuages de points des couples de variables

FIGURE 5.12 – Analyse bivée des satisfactions des acteurs et du nombre de pas de simulation pour le modèle 2

déduire un «effritement» de leur groupe, seulement le fait que, dans la variétés des situations régulées des données, ces trois acteurs se retrouvent dans des situations où leurs satisfactions varient de façon plus marquée que dans le modèle 1.

Examinons enfin la matrice de covariance des satisfactions, présentée figure 5.3.

La matrice de covariance montre qu'aucun couple de satisfaction ne varient significativement de façon similaire dans les données. Si les satisfactions semblent ne pas présenter de régularités dont l'interprétation soit révélatrice de propriétés de la structure de Plan International, il en existe peut

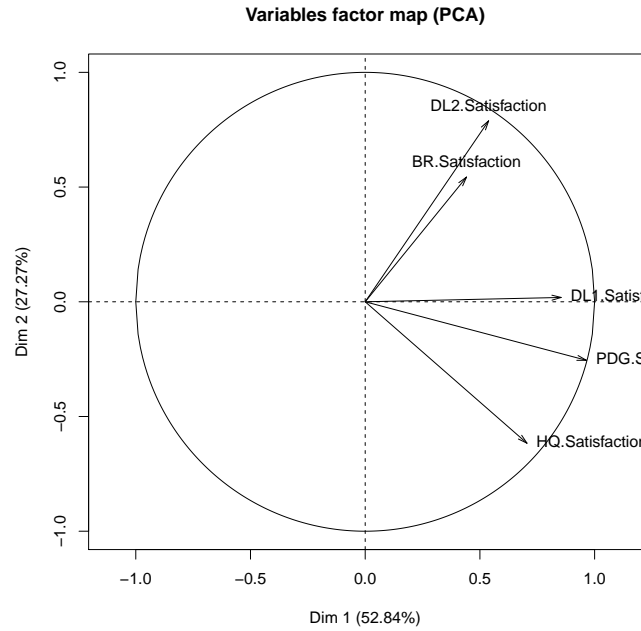


FIGURE 5.13 – Cercle de corrélation obtenu par l’ACP des variables de satisfaction, pour le modèle 2

	DG	HQ	BR	DL1	DL2
DG	0.68	0.55	0.48	0.65	0.32
HQ	0.55	0.64	0.31	0.32	-0.15
BR	0.48	0.31	4.35	0.14	1.25
DL1	0.65	0.32	0.14	0.93	0.65
DL2	0.32	-0.15	1.25	0.65	1.52

TABLE 5.3 – Matrice de covariance des satisfactions des acteurs, pour le modèle 2

être dans les données des états des relations.

## 5.6.2 Analyse des données des états des relations

### Modèle 1

La figure 5.14 présente les histogrammes des états des relations, pour les données de simulation du modèle 1.

On constate que les états des relations varient très peu, à l’exception de la relation contrôlée par le DG : Croissance et Contrôle. Lorsqu’on examine la représentation de la matrice de corrélation figure 5.15, il semble qu’aucune variable ne soit significativement corrélée avec une autre. On peut alors s’interroger sur les facteurs de la dispersion des états de la relation croissance et contrôle.

Lorsqu’on examine les nuages de points tracés pour les couples de variables (cf figure 5.16), on constate que la dispersion de la variable *nbstep* accompagne celle de l’état de la relation croissance et contrôle<sup>9</sup>.

C’est aussi le cas de l’état de la relation contrôlée par la communauté de bénéficiaires, dont la dispersion accompagne celle de *nbstep*. Mais nous nous concentrons sur la relation Croissance et Contrôle, centrale dans le conflit qui oppose les deux groupes d’acteurs et dont la dispersion mérite d’être étudiée, parce qu’elle peut refléter l’indécision du DG face à la politique à suivre, ou l’instabilité de sa situation.

9. Le nom des variables est trop long pour apparaître clairement sur la diagonale de l’image. Les variables sont, de gauche à droite et de haut en bas : *nbstep*, l’état des relations financement, croissance et contrôle, application HQ, application BR, application DL1, application DL2 et Lettres

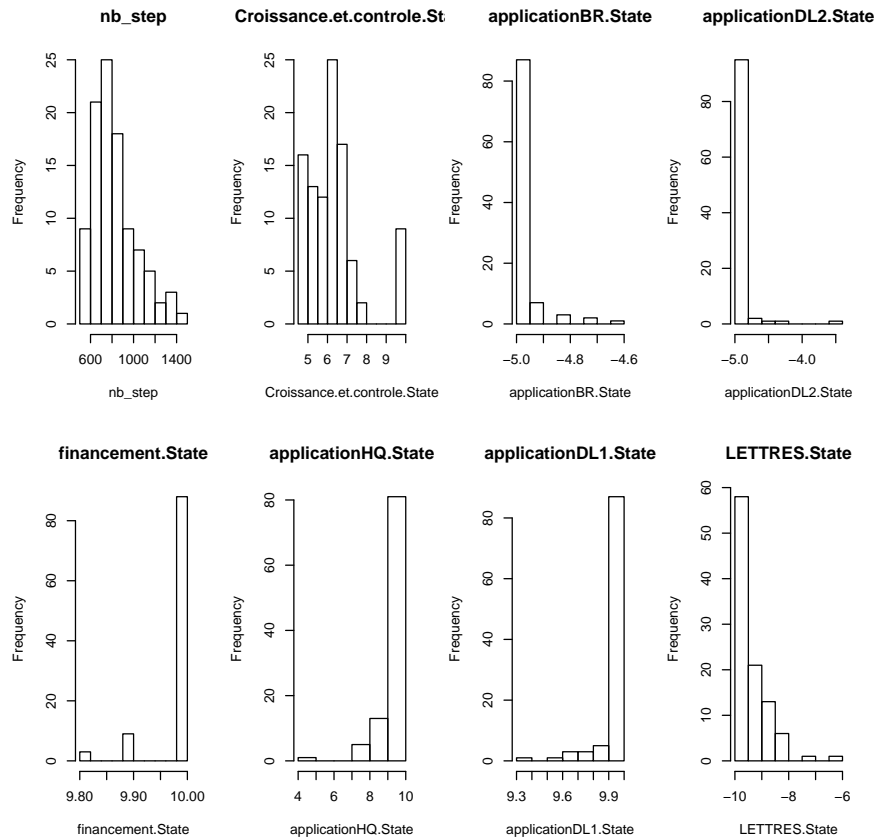


FIGURE 5.14 – Histogrammes des états des relations et du nombre de pas nécessaire pour la régulation, pour le modèle 1

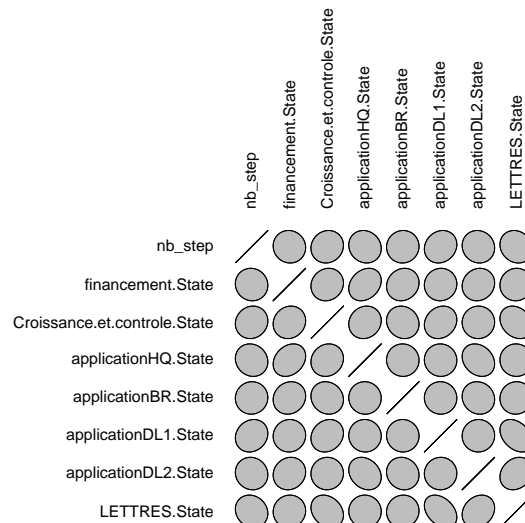


FIGURE 5.15 – Histogrammes des états des relations et du nombre de pas nécessaire pour la régulation, pour le modèle 1

Nous pouvons d’abord constater que l’état de la relations Croissance et Contrôle joue faiblement sur l’état des autres relations, ce qui serait confirmé par les covariances très faibles de l’état de croissance et contrôle et des autres relations. Nous ne présentons pas les résultats de l’ACP pratiquée sur les

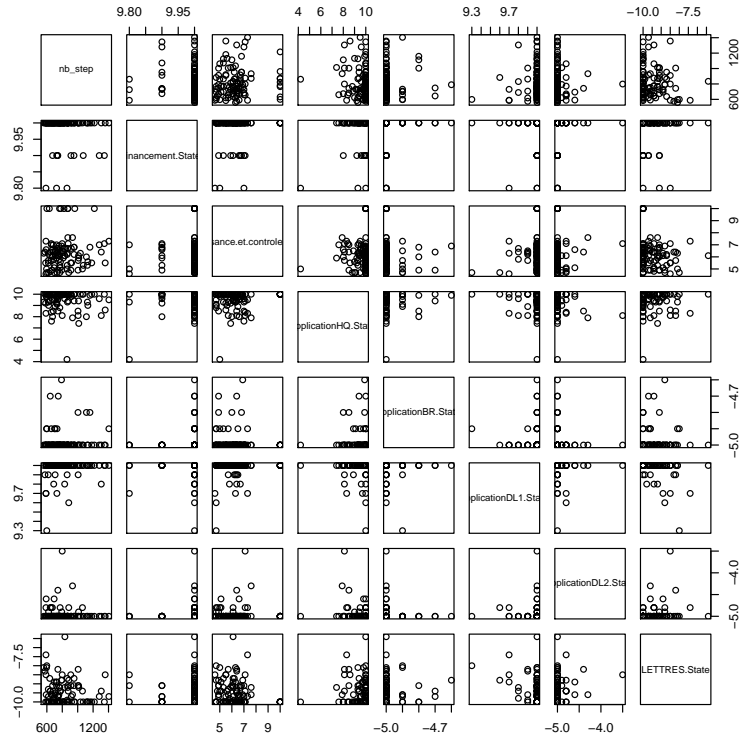


FIGURE 5.16 – Nuages de points des états des relations et du nombre de pas nécessaire pour la régulation, pour le modèle 1

états des relations car elle n'est pas significative : 36% seulement de l'inertie des données est expliquée par les deux premières composantes.

Pourtant, dans le modèle 1, Croissance et contrôle est la relation la plus pertinente de l'organisation, et les fonctions d'effets qui lui sont associées sont variées. De ce fait, l'état de cette relation devrait beaucoup jouer sur la satisfaction des autres acteurs. Pour vérifier cette intuition, nous effectuons une ACP sur les variables de satisfaction des cinq acteurs et la variable de l'état de la relation croissance et contrôle.

Il ne s'agit pas de redécouvrir que l'état de la relation a une influence sur la satisfaction des acteurs, mais plutôt de confirmer l'intuition selon laquelle, compte tenu des enjeux, des effets et des solidarités, l'état de cette relation est déterminant sur la répartition des satisfactions qu'obtiennent les acteurs dans une expérience de simulation.

Nous présentons figure 5.17 le cercle de corrélation qui résulte de cette ACP, où 95% de l'inertie des données est expliquée par les deux premières composantes.

On retrouve bien l'opposition du groupe (BR,DL2) à la politique du DG : les satisfactions de BR et DL2 sont corrélées négativement avec l'état de la relation qu'il contrôle, le groupe (BR,DL2) sera d'autant moins satisfait que la valeur de l'état est importante.

On constate également que les satisfactions du groupe (DG, HQ, DL1) sont peu impactées par la valeur de l'état de la relation, compte tenue de l'angle important qu'ils forment avec le vecteur de la relation Croissance et Contrôle. Cela signifie que leurs satisfaction ne dépendent pas du comportement de DG. Cela est particulièrement vrai pour DL1.

Si on réplique cette analyse sur les données du modèle 2 on retrouve presque exactement le même phénomène.

Cette analyse nous permet de mettre un double effet système en évidence. D'une part, alors que DL2 met peu d'enjeu sur la relation Croissance et contrôle (1 point), et que sa fonction d'effet est de faible amplitude (cf section 2.2.2 du chapitre quatre) on constate que sa satisfaction dépend intégralement de l'état de cette relation. D'autre part, DL1 et HQ posent 2 points d'enjeux chacun sur cette relation,

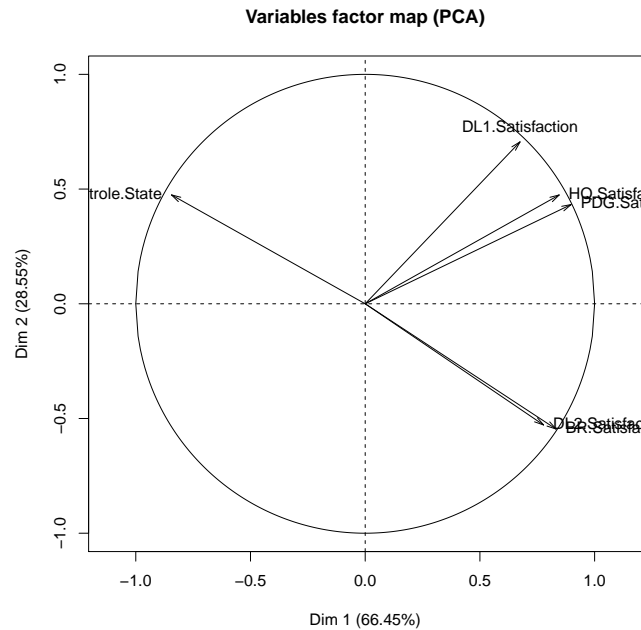


FIGURE 5.17 – Cercle de corrélation d’une ACP pratiquée sur les satisfactions des acteurs et l’état de la relation Croissance et contrôle

leurs fonctions d’effets sont identiques et amples et pourtant , leurs satisfactions sont indépendantes de son état. Il s’ensuit que ce que DL1 et HQ perdent lorsque le comportement du DG varie est compensé ailleurs dans l’organisation, par d’autres relations, pour maintenir leur satisfaction indépendante de ces variations. Pour DL2, qui dépend peu de cette relation, la perte de satisfaction est au contraire renforcée par cet effet système.

On voit donc que c’est bien la politique du Directeur de Plan International qui est centrale dans les relations qu’entretiennent les acteurs de Plan International. Les directives qu’il donnent sont l’expression de son pouvoir dans la fixation des termes de l’échange, auxquels les autres acteurs s’adaptent : ils ajustent leur comportements à celui de DG. Nous venons de voir que même si l’organisation peut se réguler dans des configurations qui varient selon la relation que le DG contrôle, l’effet de son comportement sur les autres est indiscutable et d’une certaine manière constant dans la simulation : DL1 et HQ s’y adaptent et les acteurs du groupe (BR,DL2) le subissent.

## Chapitre 6

# Étude analytique de la fonction de transfert d'une organisation

### Table des matières

---

<b>6.1</b>	<b>L'organisation comme machine à produire de la capacité d'action . . . .</b>	<b>123</b>
<b>6.2</b>	<b>La fonction de transfert d'une organisation et ses projections . . . . .</b>	<b>124</b>
6.2.1	De la matrice d'impacts à la capacité d'action des acteurs . . . . .	124
6.2.2	De la matrice d'impacts au pouvoir des acteurs . . . . .	126
6.2.3	L'opérateur d'agrégation . . . . .	126
6.2.4	Autre cas particulier : agrégation par le maximum . . . . .	127
6.2.5	Autres opérateurs d'agrégation . . . . .	127
<b>6.3</b>	<b>Outils d'analyse des champs scalaires . . . . .</b>	<b>128</b>
6.3.1	Analyse par approximation linéaire d'une fonction vectorielle . . . . .	128
6.3.2	Caractéristiques de la morphologie d'un champ scalaire . . . . .	128
<b>6.4</b>	<b>Caractéristiques de la morphologie d'un champ de capacité . . . . .</b>	<b>130</b>
6.4.1	Éminences, dépressions et îlots d'un champ de capacité . . . . .	130
6.4.2	Calcul de la taille d'un îlot . . . . .	131
6.4.3	Calcul analytique de la taille d'un îlot . . . . .	131
6.4.4	Exemple simple de calcul de la taille d'un îlot de capacité . . . . .	132
<b>6.5</b>	<b>Modèle canonique d'une organisation . . . . .</b>	<b>133</b>
6.5.1	Fonctions d'effet et impacts résultants . . . . .	133
6.5.2	Exemple de transformation d'un modèle d'organisation en modèle canonique .	134
6.5.3	Interprétation du jacobien de la matrice du modèle canonique d'une organisation	135

---

Le méta-modèle exposé dans le chapitre trois établit le lien *fonctionnel* entre les comportements des acteurs et leurs capacités à atteindre leurs objectifs, représentées par l'indicateur de capacité d'action. Dans ce chapitre, nous considérons le modèle d'une organisation comme une "machine" dont la *fonction de transfert* produit de la capacité d'action pour chacun des acteurs en fonction des comportements qu'ils adoptent dans la gestion des relations qu'ils contrôlent. Qu'il s'agisse de la capacité d'action d'un acteur ou de celle de l'organisation, cette capacité d'action associée à un état de l'organisation est déterminée par la structure de l'organisation.

Puisque la structure d'une organisation nous donne une expression analytique de sa *fonction de transfert*, nous avons la possibilité d'étudier analytiquement cette fonction, c'est-à-dire d'étudier la relation entre l'entrée de l'organisation (les comportements des acteurs) et la sortie (les indicateurs de capacité d'action). Nous utilisons pour cela des outils de géométrie différentielle, dont les résultats sont développés et interprétés dans le chapitre suivant.

Dans une première section nous présentons cette conception de l'organisation comme machine à transformer de la coopérativité en capacité à disposer des moyens d'atteindre ses objectifs; nous y introduisons la notion de *paysage de satisfaction* obtenu, s'agissant d'un acteur par l'agrégation des impacts des relations dont il dépend, et s'agissant de l'organisation par l'agrégation des capacités d'action de ses acteurs. Ces paysages se révèlent être des *champs scalaires* dont nous étudions les caractéristiques morphologiques dans la deuxième section. Cela nous conduit, dans la troisième section, à caractériser les *îlots* qui, dans l'espace des comportements des acteurs, garantissent l'obtention d'un niveau de capacité donné. Enfin, nous envisageons la fusion des relations d'une organisation suivant l'acteur qui les contrôle, et présentons les résultats que cette "réduction" du modèle d'une organisation permet d'obtenir.

## 6.1 L'organisation comme machine à produire de la capacité d'action

Le modèle de la structure d'une organisation décrit ses constituants (acteurs et relations) sous forme d'objets mathématiques. Elle définit ainsi le support des interactions entre ses acteurs, c'est-à-dire l'espace de leurs comportements (l'espace d'états) et les conséquences de ces comportements (l'espace des capacités d'action) sur leur capacité à atteindre leurs objectifs.

Nous proposons dans ce chapitre de considérer une organisation comme une *machine*, un système, qui transforme les comportements de ses acteurs en capacité à atteindre leurs objectifs. Cette transformation est déterminée par la structure de l'organisation et, grâce à la formalisation de celle-ci, nous en connaissons une expression analytique. Modéliser la structure d'une organisation revient donc à définir sa *fonction de transfert*, qui décrit la façon dont l'organisation, par sa structure, structure l'espace des capacités qui découlent des comportements des acteurs.

La figure 6.1 décrit schématiquement la fonction de transfert d'une organisation.

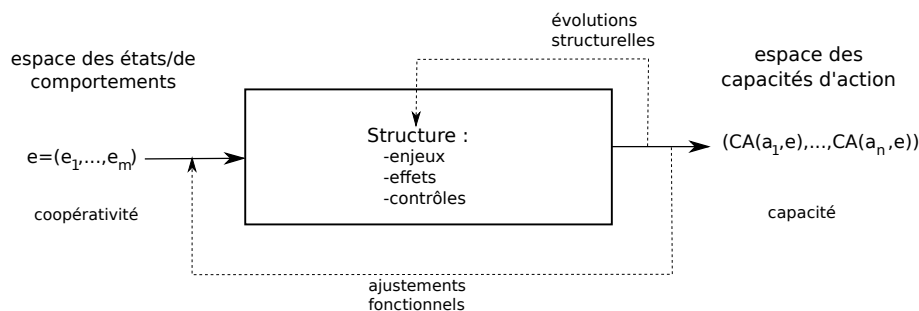


FIGURE 6.1 – Fonction de transfert d'une organisation

L'espace d'«entrée», sur lequel est définie la fonction, est l'espace d'états de l'organisation. Cet espace, comme on l'a vu, décrit l'ensemble des comportements que les acteurs de l'organisation pourraient adopter. Ces comportements sont plus ou moins coopératifs, et sont mesurés en une unité

abstraite que l'on appelle *coopérativité*.

L'espace de «sortie» est l'espace des capacités d'action susceptibles d'être obtenues par les acteurs de l'organisation, mesurées à l'aide de l'unité abstraite *capacité*. Il s'agit de capacités au sens large, c'est-à-dire de contributions à la disponibilité des ressources nécessaires à la réalisation des objectifs de chaque acteur, qui pourront par la suite être agrégées pour obtenir par exemple les indicateurs de capacité d'action ou de satisfaction.

Dans ce contexte, la régulation des comportements des acteurs et les évolutions structurelles endogènes, qui sont deux caractéristiques des organisations sociales comme les envisage la SAO, sont représentées comme deux boucles rétroactions sur le système. La première consiste, pour les acteurs, à ajuster leurs comportements les uns par rapport aux autres dans le but d'obtenir une capacité suffisante (ajustements fonctionnels). Nous simulons l'effet de cette rétroaction par un algorithme d'apprentissage multi-agents (cf. chapitre cinq). La seconde consiste pour les acteurs à peser sur la structure du jeu pour tenter de la modifier, de façon à changer les règles du jeu social à leur avantage. Nous revenons sur les évolutions structurelles endogènes au chapitre huit.

L'objet des sections suivantes est l'étude analytique de la fonction de transfert et ses propriétés.

## 6.2 La fonction de transfert d'une organisation et ses projections

Plaçons nous à l'échelle d'une relation  $r$  dont dépend un acteur  $a$  d'une organisation : la fonction d'effet  $effet(r, a, e_r)$  mesure la qualité de la disponibilité de la ressource sous-jacente à la relation  $r$  pour l'acteur  $a$ , lorsque l'organisation est dans l'état  $e$ . La disponibilité de la ressource affectant directement la capacité de  $a$  à atteindre ses objectifs, la fonction d'effet  $effet(a, r, e_r)$  permet donc d'associer à l'état de la relation  $r$  une valeur d'effet qui représente pour partie<sup>1</sup> la capacité de l'acteur  $a$  à atteindre ses objectifs. Autrement dit, une relation est un dispositif qui transforme le comportement d'un acteur (le contrôleur de la relation) en capacité, pour chacun des acteurs qui dépendent de cette relation, à atteindre ses objectifs. L'ensemble de relations d'une organisation transforme l'ensemble des comportements des acteurs en capacités. Une organisation peut donc être considérée comme une "machine" à produire de la capacité à partir de comportements.

La fonction de transfert de cette machine est connue : du point de vue d'un acteur, la capacité d'action est une agrégation des effets des relations dont il dépend pondérés par ses enjeux. De même, du point de vue de l'organisation dans son ensemble, la capacité d'action globale est une agrégation des capacités d'action des acteurs qui la constituent.

### 6.2.1 De la matrice d'impacts à la capacité d'action des acteurs

Soit un acteur  $a$  dépendant d'une relation  $r$ , dont l'état est  $e_r$ . La fonction d'effet  $effet(r, a, e_r)$  représente pour  $a$ , la qualité d'accès à la ressource sur laquelle est fondée  $r$ . La contribution de cette relation  $r$  à la réalisation des objectifs de  $a$  est donnée par l'*impact* de cette relation sur  $a$ . L'impact de  $r$  sur  $a$  est défini comme l'effet de  $r$  sur  $a$  pondéré par l'importance relative de la ressource sous-jacente à  $r$  pour la réalisation des objectifs de  $a$ , i.e. l'*enjeu* que pose  $a$  sur cette relation.

$$impact(a, r, e_r) = enjeu(a, r) * effet(r, a, e_r)$$

Considérons la matrice d'impact  $\mathcal{I}$  (définie au chapitre trois, section 3) d'un modèle d'une organisation à  $m$  relations et  $n$  acteurs dans l'état  $e$ .

$$\begin{aligned} \mathcal{I}(e) &= Enj \boxtimes Eff(e) \\ \mathcal{I}(e) &= \begin{pmatrix} impact(a_1, r_1, e_1) & \cdots & impact(a_1, r_m, e_m) \\ \vdots & impact(a_i, r_j, e_j) & \vdots \\ impact(a_n, r_1, e_1) & \cdots & impact(a_n, r_m, e_m) \end{pmatrix} \end{aligned}$$

---

1. Un acteur dépend, en général, de plusieurs relations



Dans cette matrice, la  $i^{\text{ème}}$  ligne donne l'impact de chacune des relations du modèle sur l'acteur  $a_i$ .

Pour rendre compte de la capacité d'action d'un acteur, nous pouvons considérer une agrégation des impacts des relations dont il dépend. Nous faisons l'hypothèse (assez forte) que les impacts des relations sont *commensurables*, c'est-à-dire que si l'impact d'une relation est égal à l'impact d'une autre relation, leur contribution à l'agrégat résultat de l'opérateur sera exactement la même (cf. section 2.5 du chapitre trois). Notons que si cette hypothèse est nécessaire pour l'étude analytique que nous menons ici, l'algorithme d'apprentissage qui calcule la façon dont les acteurs pourraient se comporter peut s'en dispenser.

Notons  $\mathcal{A}_{\mathbb{A}}$  l'opérateur d'agrégation qui produit la capacité d'action des acteurs à partir de leurs impacts. Nous faisons l'hypothèse qu'il est le même pour tous les acteurs, ceci afin que les valeurs des agrégats soient comparables, bien que rien n'empêche de définir un opérateur d'agrégation spécifique pour chaque acteur<sup>2</sup>.

On a alors :

$$CA(a_i, e) = \mathcal{A}_{\mathbb{A}}(\text{impact}(a_i, r_1, e_1), \dots, \text{impact}(a_i, r_m, e_m))$$

De même, si nous notons  $\mathcal{A}_{\mathbb{O}}$ , l'opérateur d'agrégation qui produit la capacité d'action globale d'une organisation à partir des capacités des acteurs, on a :

$$CA_{\text{globale}}(e) = \mathcal{A}_{\mathbb{O}}(CA(a_1, e), \dots, CA(a_n, e))$$

Pour pouvoir utiliser les outils mathématiques décrits dans la suite de ce chapitre, nous considérerons des opérateurs d'agrégation :

- monotones (non-décroissants),
- continus,
- dérivables sur leur domaine de définition.

La liste exhaustive des propriétés fondamentales des opérateurs d'agrégations est donnée dans [Grabisch, 2006].

Dans le cas général, toute fonction d'agrégation à valeurs réelles qui respecte les trois critères précédents peut être utilisée dans ce qui suit.

Notons  $f$  la fonction vectorielle qui, à un état  $e$  de l'organisation, associe l'agrégation des impacts des relations dont dépend un acteur.

$$f : [-10; 10]^m \rightarrow [-100; 100]^n$$

$$e = \begin{pmatrix} e_1 \\ \vdots \\ e_m \end{pmatrix} \mapsto \begin{pmatrix} \mathcal{A}_{\mathbb{A}}(\text{impact}(a_1, r_1, e_1), \dots, \text{impact}(a_1, r_m, e_m)) \\ \vdots \\ \mathcal{A}_{\mathbb{A}}(\text{impact}(a_i, r_1, e_1), \dots, \text{impact}(a_i, r_m, e_m)) \\ \vdots \\ \mathcal{A}_{\mathbb{A}}(\text{impact}(a_n, r_1, e_1), \dots, \text{impact}(a_n, r_m, e_m)) \end{pmatrix}$$

Avec ces notations, la capacité d'action d'un acteur  $a_i$  pour un état  $e$  est donnée par la  $i^{\text{ème}}$  composante du vecteur  $f(e)$  :

$$CA(a_i, e) = f_i(e)$$

en notant  $f_i$  la fonction qui à un état  $e$  de l'organisation, associe la valeur de la  $i^{\text{ème}}$  composante de  $f(e)$ , c'est-à-dire la capacité d'action de l'acteur  $a_i$  dans cet état.

Dans le cas où l'on agrège les impacts par la somme, nous avons montré au chapitre trois que le vecteur des capacités d'action était obtenu par le produit de la matrice  $\mathcal{I}(e)$  par un vecteur unité de taille  $m$ , le nombre de relations du modèle.

---

2. Afin que les valeurs restent comparables, il faut alors normaliser leurs domaines de valeurs respectifs

Notons  $g$  la fonction scalaire qui à un état  $e$  associe la valeur de la capacité globale de l'organisation, agrégation des capacités d'actions des acteurs, i.e. une agrégation des fonctions  $f_i$ .

$$g : [-10; 10]^m \rightarrow [-100 * n; 100 * n]$$

$$e = \begin{pmatrix} e_1 \\ \vdots \\ e_m \end{pmatrix} \mapsto CA_{globale}(e) = \mathcal{A}_{\mathbb{O}}(f_1(e), \dots, f_n(e))$$

La fonction  $f$  est la fonction de transfert de l'organisation, celle qui transforme les comportements des acteurs en capacité. Nous en étudions deux projections :

- selon la dimension d'un acteur  $a_i$  : en étudiant la composante  $f_i$  correspondante, qui nous donne sa capacité d'action en fonction des comportements.
- du point de vue de l'organisation : en étudiant  $g$ , qui nous donne la capacité d'action globale en fonction des comportements.

La fonction  $g$  et les fonctions  $f_i$  ont les propriétés d'un *champ scalaire* : à tout point de l'espace vectoriel sur lequel elles sont définies (l'espace des comportements), elles associent une valeur scalaire (celle de la capacité obtenue en ce point).

Disposant de l'expression analytique de ces champs scalaires, nous sommes en mesure de les analyser, et d'en tirer des propriétés dont l'interprétation (développée au chapitre sept) nous permettra de caractériser l'organisation modélisée.

### 6.2.2 De la matrice d'impacts au pouvoir des acteurs

Considérer les capacité d'actions des acteurs d'une organisation revient à étudier les impacts qu'ils reçoivent des relations dont ils dépendent. Pour étudier le pouvoir qu'exercent les acteurs dans l'organisation, il nous faut considérer cette fois les impacts qui sont distribués par les acteurs sur les autres. La fonction qui calcule le pouvoir d'un acteur ayant les mêmes propriétés que la fonction qui calcule sa capacité, les outils analytiques que nous mobiliserons pour étudier le champ scalaire de capacité s'applique de la même manière à un champ de pouvoir. Seule la façon dont sont constituées les fonctions de pouvoir diffère.

Au chapitre trois section 4.1, nous avons montré que si le pouvoir était défini comme la somme des impacts qu'un acteur distribue aux autres, on obtenait le vecteur des pouvoirs des acteurs par le produit suivant :

$$C \cdot (\mathcal{I}(e)^T \cdot id_m) = \begin{pmatrix} pouvoir(a_1, e) \\ \vdots \\ pouvoir(a_j, e) \\ \vdots \\ pouvoir(a_n, e) \end{pmatrix}$$

Où  $C$  est la matrice de contrôle,  $\mathcal{I}$  est la matrice d'impacts, et  $id_n$  le vecteur unité de taille  $n$ , le nombre d'acteurs.

### 6.2.3 L'opérateur d'agrégation

#### Cas particulier : agréger par la somme

Si, pour un acteur  $a_i$ , on choisit d'agréger les impacts des relations dont il dépend en en faisant la somme, alors, lorsque que l'organisation est dans un état  $e$ , la capacité d'action de  $a_i$  sera donnée par la somme des éléments de la  $i^{\text{ème}}$  ligne de  $\mathcal{I}$  (i.e.  $f_i(e)$ ).

$$CA(a_i, e) = \sum_j \mathcal{I}_{i,j}(e) = \sum_j impact(a_i, r_j, e_j)$$

Utiliser la somme comme opérateur d'agrégation demande de considérer que les impacts des relations sur l'acteur  $a_i$  sont *indépendants*. Cependant, nous avons vu au chapitre trois section 2.5 comment traiter les inter-dépendances entre les effets des relations, et donc leurs impacts.

De la même façon, la capacité globale de l'organisation ( $g(e)$ ) peut être définie comme la somme des capacité d'actions individuelles des acteurs qui la composent, c'est-à-dire des composantes de la fonction  $f(e)$ .

$$CA_{globale}(e) = \sum_{a \in \mathbb{A}} CA(a, e)$$

Dans la suite de ce chapitre, nous agrégerons par la somme les impacts qu'un acteur reçoit pour obtenir sa capacité d'action, ainsi que les capacités d'action des acteurs pour obtenir la capacité d'action globale de l'organisation.

#### 6.2.4 Autre cas particulier : agrégation par le maximum

Une autre façon d'agréger les impacts d'une situation est d'en retenir le maximum.

Le maximum d'un ensemble de valeurs est un opérateur qualifié de *disjonctif*<sup>3</sup>. Cela revient à effectuer une agrégation du type «OU» logique : dès qu'un des éléments à agréger est élevé, l'agrégation est élevée.

#### 6.2.5 Autres opérateurs d'agrégation

La somme algébrique est un opérateur de compromis, qui se situe entre les opérateurs conjonctifs, comme le produit ou le minimum, et les opérateurs conjonctifs, comme le maximum (voir [Grabisch, 2006] pour la liste des propriétés spécifiques de ces classes d'opérateurs). Bien qu'elle présente toutes les propriétés désirables de la décision multi-critères, elle pose deux hypothèses assez fortes : les éléments sont commensurables et il n'existe pas d'interaction, d'interférences entre les éléments à agréger.

Dans cette section nous allons examiner un opérateur d'agrégation non linéaire et volontairement «compliqué», à titre de discussion sur les fonctions d'agrégation.

Soit un acteur  $a$ , dépendant de trois relations  $r_1, r_2, r_3$ .

Soit  $\mathcal{A}_{\mathbb{A}}(x_1, x_2, x_3)$  l'opérateur d'agrégation qui produit la capacité d'action de l'acteur  $a$  à partir des impacts des relations dont il dépend, défini comme suit :

$$\mathcal{A}_{\mathbb{A}}(x_1, x_2, x_3) = \sqrt{x_1 x_2} + (x_3)^2 \quad (6.1)$$

Cet opérateur d'agrégation est monotone, continu et dérivable sur l'espace d'état des trois relations. Nous considérerons que les valeurs  $x_1, x_2$  et  $x_3$  sont à valeurs positives, dans  $[0; 100]$ .

Le bien fondé de cet agrégateur importe peu ici, mais nous pouvons tout de même nous arrêter ici sur son interprétation. Tout d'abord, il est constitué d'un opérateur conjonctif (le produit) en  $x_1, x_2$  à l'intérieur du terme  $\sqrt{x_1 x_2}$ .

Un opérateur *conjonctif* est un opérateur qui se comporte comme un «ET» logique, c'est-à-dire que les quantités  $x_1$  et  $x_2$  doivent être simultanément élevées pour produire un agrégat élevé (en valeur absolue du moins). On peut noter la propriété «écrasante» de la racine carrée : au delà de la valeur 1, la racine carrée croît très lentement, et la racine carrée des grands nombres est très faible par rapport à la valeur de ces nombres ( $\lim_{x \rightarrow \infty} (\frac{x}{\sqrt{x}}) = +\infty$ ). Dans notre cas, on peut dire que, passé un certain seuil, l'augmentation des valeurs du produit  $x_1 x_2$  est moins sensible.

Une interprétation rapide de cet agrégateur serait que l'acteur  $a$ , pour la poursuite de ses objectifs, a besoin d'un "bon" impact en valeur absolue sur les deux premières relations, et ce, simultanément. Le terme en  $x_3^2$  permet d'amplifier les grandes valeurs de l'impact de  $r_3$  tout en "écrasant" les petites

3. Les opérateurs disjonctifs sont aussi appelés t-conormes. L'opérateur de maximum est la plus petite des t-conormes ; on la qualifie alors de «pessimiste».

valeurs : les valeurs élevées sont significativement plus intéressantes aux yeux de  $a$  que dans un cas linéaire du type  $\alpha * impact(a, r_3, e) + \beta$ .

Nous disposons donc d'un opérateur d'agrégation dont l'interprétation peut se résumer ainsi : les situations avantageuses pour  $a$  sont celles pour lesquelles il obtient simultanément un bon impact des relations  $r_1$  et  $r_2$ , et un impact élevé de la relation  $r_3$ .

L'opérateur d'agrégation  $\mathcal{A}_{\mathbb{A}}$  que nous venons d'étudier a une sémantique plus riche que la somme : il introduit la conjonction entre les impact des relations  $r_1$  et  $r_2$ , qui est une forme d'interaction entre les éléments à agréger. Il écrase les valeurs élevées de ce produit, et amplifie l'importance de l'impact de  $r_3$ .

L'agrégateur somme, lui, présente l'inconvénient de ne pas intégrer les inégalités entre les capacités d'action des acteurs de l'organisation, alors qu'elles ne peuvent être ignorées dans l'évaluation globale de l'état d'une organisation.

Une solution serait d'agréger les capacité des acteurs par le produit de Nash [Nongaillard et al., 2009], ou de pondérer la somme par un indice de dispersion des capacités<sup>4</sup>. Mais globalement, c'est une question qui relève de l'estimation du bien-être social que nous ne traiterons pas ici. Pour approfondir ce point, on pourra se référer à [Arrow et al., 2002].

## 6.3 Outils d'analyse des champs scalaires

Pour analyser la fonction de transfert, nous utilisons la géométrie différentielle [Berger and Gostiaux, 1992]. Nous commençons par donner quelques rappels de géométrie différentielle, que nous appliquerons ensuite aux champs scalaires  $g$  et  $f_i$  que nous venons de définir.

### 6.3.1 Analyse par approximation linéaire d'une fonction vectorielle

Soit une fonction vectorielle  $f$  définie et différentiable sur  $\mathbb{R}^n$  à valeurs dans  $\mathbb{R}^m$ .

$$f : \begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} \mapsto \begin{pmatrix} f_1(x_1, \dots, x_n) \\ \vdots \\ f_m(x_1, \dots, x_n) \end{pmatrix} \quad (6.2)$$

On note  $J_f$ , la matrice jacobienne de la fonction  $f$ , constituée des dérivées partielles de  $f$  en un point  $X$  de coordonnées  $(x_1, \dots, x_n)$  lorsque celles-ci existent.

$$J_f(X) = \begin{pmatrix} \frac{\partial f_1(X)}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial f_1(X)}{\partial x_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_m(X)}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial f_m(X)}{\partial x_n} \end{pmatrix} \quad (6.3)$$

Sous l'hypothèse que ses composantes  $f_i$  soient dérivables, le développement limité d'ordre 1 de la fonction  $f$  au voisinage d'un point  $X_0 \in \mathbb{R}^n$  s'obtient de la façon suivante :

$$f(X) \approx f(X_0) + J_f(X_0)(X - X_0) \quad (6.4)$$

Au voisinage d'un point, la fonction  $f$  se comporte au premier ordre comme une application linéaire dont la pente est la dérivée en ce point, à savoir la matrice jacobienne de  $f$ . La matrice jacobienne de la fonction  $f$  permet de mettre en évidence plusieurs caractéristiques et propriétés des champs scalaires.

### 6.3.2 Caractéristiques de la morphologie d'un champ scalaire

Le *gradient* d'une composante  $f_i$  d'une fonction vectorielle  $f$  est obtenue en transposant la  $i^{\text{ème}}$  ligne de  $J_f$ . On le note  $\nabla f_i$ . Ce vecteur représente la variation du champ scalaire  $f_i$  par rapport à la variation de ses paramètres  $x_1, \dots, x_n$ .

---

4. L'indice de Gini, évoqué au chapitre 3, serait une pondération pertinente

$$\nabla f_i = \begin{pmatrix} \frac{\partial f_i}{\partial x_1} \\ \vdots \\ \frac{\partial f_i}{\partial x_j} \\ \vdots \\ \frac{\partial f_i}{\partial x_n} \end{pmatrix}$$

Un point  $x^*$  qui annule le gradient d'un champ scalaire est dit *critique*.

On trouve les coordonnées de ces points (s'ils existent) en résolvant l'équation  $\nabla f_i = \vec{0}$ .

Ces points critiques peuvent être des extrema du champ ou des points selles. La nature d'un point critique est révélée par le signe des valeurs propres de la matrice hessienne de la fonction  $f_i$ , calculées en ce point. La matrice hessienne d'une fonction est la matrice carrée constituée des dérivées partielles secondes de la fonction par rapport à ses variables<sup>5</sup>. On note cette matrice  $H_{f_i}$ .

$$H_{f_i} = \begin{pmatrix} \frac{\partial^2 f_i}{\partial x_1^2} & \frac{\partial^2 f_i}{\partial e_1 \partial e_2} & \cdots & \frac{\partial^2 f_i}{\partial x_1 \partial x_n} \\ \frac{\partial^2 f_i}{\partial x_2 \partial x_1} & \frac{\partial^2 f_i}{\partial x_2^2} & \cdots & \frac{\partial^2 f_i}{\partial x_2 \partial x_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial^2 f_i}{\partial x_n \partial x_1} & \frac{\partial^2 f_i}{\partial x_n \partial x_2} & \cdots & \frac{\partial^2 f_i}{\partial x_n^2} \end{pmatrix} \quad (6.5)$$

Soit un point critique  $x^*$  du champ scalaire  $f_i$ , tel que  $\vec{\nabla} f_i(x^*) = \vec{0}$ . Si les valeurs propres de  $H_{f_i}$  sont toutes de signe positif, le point  $x^*$  est un *minimum local* du champ scalaire  $f_i$ ; au voisinage du point  $x^*$ , la fonction  $f_i$  est croissante dans toutes les directions (voir figure 7.1a). Si les valeurs propres de  $H_{f_i}$  sont toutes de signe négatif, le point  $x^*$  est un *maximum local* du champ scalaire  $f_i$ ; au voisinage du point  $x^*$ , la fonction  $f_i$  est décroissante dans toutes les directions (voir figure 7.1b). Enfin, si les valeurs propres de  $H_{f_i}$  sont de signe différent,  $x^*$  est un *point selle*; au voisinage du point  $x^*$ , la fonction  $f_i$  est croissante dans certaines directions et décroissante dans les autres (voir figure 7.1c).

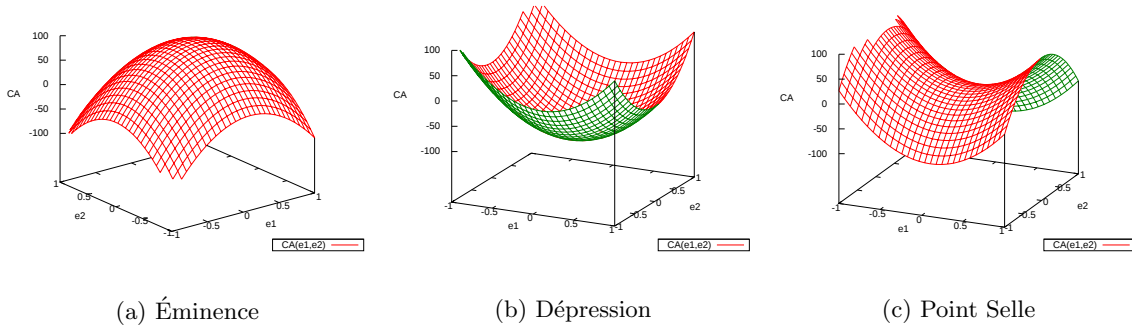


FIGURE 6.2 – Singularités d'un champ de capacité

## Application à l'analyse des champs de capacités d'action

Nous venons de voir comment analyser un champ scalaire dans le cas général. Pour pouvoir réaliser cette analyse sur les champs de capacité produit par la fonction de transfert, il faudra approximer la fonction de transfert de l'organisation,  $f$ . Les lignes de la matrice Jacobienne de  $f$  nous donneront la variations de la capacité d'un acteur, en fonction de la variation des états des relations, et formeront ainsi des *gradients de capacité*.

5. Si la fonction  $f$  est de classe au moins  $\mathcal{C}^2$  sur  $\mathbb{R}^n$ , alors tous les termes de  $H_f$  existent;  $H_f$  est symétrique, par application du théorème de Schwartz :  $\frac{\partial^2 f}{\partial x_1 \partial x_2} = \frac{\partial^2 f}{\partial x_2 \partial x_1}$ .

Nous avons évoqué dans la deuxième section de ce chapitre les différents opérateurs d'agrégation susceptibles d'être utilisés pour constituer les champs de capacité des acteurs et de l'organisation. Pour tenir compte de l'effet de l'opérateur d'agrégation sur la morphologie du champ que l'on analyse, il nous faut analyser non pas les projections de la fonction de transfert, mais la composition des composantes de la fonction de transfert par l'opérateur d'agrégation.

La matrice jacobienne d'une fonction composée est donnée par la formule suivante, pour deux fonctions  $\phi$  et  $\psi$  :

$$J_{\phi \circ \psi}(x) = J_{\phi}(\psi(x)) \cdot J_{\psi}(x)$$

Dans notre cas, si on note  $\mathcal{A}_{\mathbb{A}}$  l'opérateur d'agrégation des impacts choisi pour calculer la capacité d'action d'un acteur  $a_i$ , l'étude d'un champ de capacité se fera à l'aide la matrice jacobienne de la fonction  $\mathcal{A}_{\mathbb{A}} \circ f_i$ . De même, l'étude du champ de capacité globale se fera à l'aide de la jacobienne de  $\mathcal{A}_{\mathbb{O}} \circ \mathcal{A}_{\mathbb{A}} \circ f_i$ , où  $\mathcal{A}_{\mathbb{O}}$  est l'opérateur d'agrégation qui calcule la capacité d'action globale à partir de la capacité d'action des acteurs.

## 6.4 Caractéristiques de la morphologie d'un champ de capacité

Dans cette section, les caractéristiques de la morphologie d'un champ scalaire sont interprétés dans le cas d'un champ de capacité, et nous définissons les concepts d'*éminences*, de *dépressions* et d'*îlots*, principales caractéristiques que peuvent présenter les champs de capacité. Leur interprétation en terme de propriétés de l'organisation dont on étudie le champ de capacité est abordée au chapitre sept.

### 6.4.1 Éminences, dépressions et îlots d'un champ de capacité

Dans un champ de capacité, nous appellerons *éminence de niveau  $k$*  un ensemble connexe de points du champ, dont la valeur de capacité est supérieure ou égale à  $k$  (voir figure 6.3).

**Définition 1.**  $E_k \subset EC^m \times \mathbb{R}$  est une *éminence de niveau  $k$*  d'un modèle d'organisation si et seulement si  $E_k$  est un ensemble connexe et  $\forall e, \exists c, (e, c) \in E_k \implies CA(e) \geq k$

De même, une *dépression de niveau  $k$*  d'un champ est un ensemble connexe de points dont la valeur de capacité est inférieure (ou égale) à  $k$ .

**Définition 2.**  $E_k \subset EC^m \times \mathbb{R}$  est une *dépression de niveau  $k$*  d'un modèle d'organisation si et seulement si  $E_k$  est un ensemble connexe et  $\forall e, \exists c, (e, c) \in E_k \implies CA(e) \leq k$

Nous appelons *îlot* de niveau  $k$  la projection d'une éminence sur l'ensemble des états de l'organisation<sup>6</sup>. Si on représente un champ de capacité comme une nappe dans un repère tridimensionnel (voir figure 6.3), un îlot est la projection d'une éminence de cette nappe sur l'espace d'états.

**Définition 3.**  $\hat{I}lot_k \subset EC^m$  est un *îlot de niveau  $k$*  si et seulement si il existe une éminence  $E_k$  de niveau  $k$  telle que  $\hat{I}lot_k = \{e, (e, CA(e)) \in E_k\}$ .

Dans l'espace de dimension  $m + 1$  formé des dimensions des états des relations de l'organisation et de la dimension de la capacité évaluée, le sous-espace des points de niveau  $k$  forme un hyperplan.

L'intersection d'un champ de capacité avec cet hyperplan forme les *courbes de niveau  $k$*  du paysage<sup>7</sup>, c'est-à-dire l'ensemble des points du paysage dont le niveau de capacité est égal à  $k$ ,  $\{e, CA(a, e) = k\}$ .

6. Un îlot de niveau  $k$  forme l'antécédent d'une éminence de niveau  $k$ .

7. On peut aussi parler de *courbes d'isocapacité*

Ces courbes de niveau délimitent les éminences et les dépressions du paysage ; elles sont fermées et de classe au moins  $\mathcal{C}^1$ <sup>8</sup>. Par exemple, sur la figure 6.3, nous avons représenté un champ de capacité simple, dans lequel une éminence et l'îlot correspondant sont représentés.

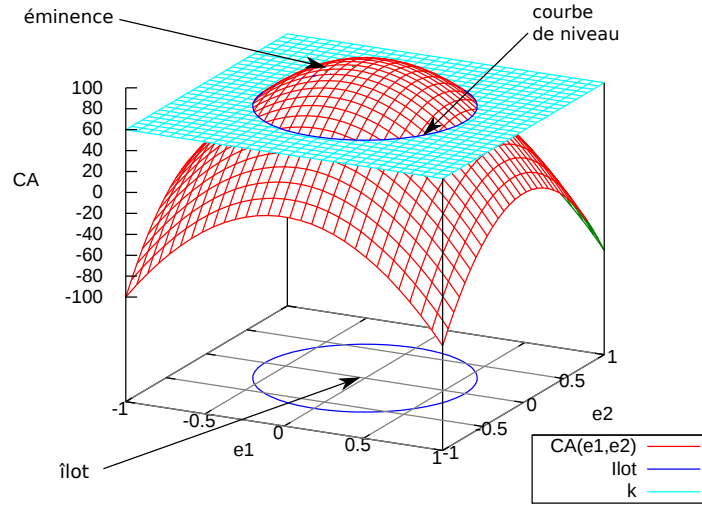


FIGURE 6.3 – Éminence, courbe  $\mathcal{C}_k$  de niveau  $k$  qui la délimite et îlot dans un paysage de capacité simple.

Pour une valeur de  $k$  donnée, il peut exister plusieurs courbes fermées, définissant autant d'éminences et de dépressions distinctes, équivalentes du point de vue de la capacité, mais formées de sous-ensembles d'états non connexes.

#### 6.4.2 Calcul de la taille d'un îlot

Il peut être intéressant de connaître, pour un champ de capacité et un niveau de capacité  $k$ , le nombre d'états qui garantissent au moins ce niveau, i.e. la taille des îlots de niveau  $k$ .

Nous définissons la taille d'un îlot  $I_k$  comme la proportion d'états de l'espace  $EC^m$  qui appartiennent à  $I_k$ . Si  $EC^m$  est discrétisé, la taille est donc définie comme le rapport des cardinaux de l'îlot et de l'espace de comportement.

$$taille(I_k) = \frac{Card(I_k)}{Card(EC^m)}$$

Nous mesurerons la taille d'un îlot par un calcul en force brute, qui consiste à discrétiser l'espace des comportements  $EC^m$ , à calculer pour chaque état la valeur de capacité correspondante, et à compter le nombre d'états pour lesquels la valeur de capacité dépasse  $k$ .

#### 6.4.3 Calcul analytique de la taille d'un îlot

Il existe une relation analytique entre la circonférence d'une courbe et l'aire du domaine qu'elle délimite, donnée par le théorème de Green-Reimann :

**Théorème 1.** Soit une courbe  $\mathcal{C}$ , fermée et au moins  $\mathcal{C}^1$  par morceaux, délimitant un domaine  $\mathcal{D}$  compact du plan.

Soit  $\omega = Pdx + Qdy$  une 1-forme différentielle  $\mathcal{C}^1$ , définie sur le plan.

Alors,  $\int_{\mathcal{C}} Pdx + Qdy = \iint_{\mathcal{D}} \left( \frac{\partial Q}{\partial x} - \frac{\partial P}{\partial y} \right) dx dy$

8. Les courbes sont éventuellement  $\mathcal{C}^1$  par morceaux, si la courbe s'étend hors de l'espace d'état  $[-1 : 1]^m$ , sa restriction à cet espace étant alors constituée par endroits des "bords" de l'hypercube.

Sans entrer dans les détails, les conditions d'application de ce théorème sont vérifiées par les propriétés des fonctions d'effets ( $\mathcal{C}^2_{sur\mathbb{R}}$ ). Nous retenons que :

- Raisonner sur l'intégrale curviligne le long de  $\mathcal{C}$  revient à raisonner sur l'intégrale double du domaine qu'elle délimite.
- Cette réduction de dimension facilite le calcul de l'intégrale.
- Trouver la forme différentielle (P et Q) qui permet l'application de ce théorème peut être délicat (il faut trouver un changement de variables astucieux).
- Le théorème de Green-Reimann est la version en dimension 2 du théorème de Stokes qui considère les dimensions supérieures.

Ce théorème est d'utilisation délicate en pratique lorsqu'on ne connaît pas l'équation de la courbe le long de laquelle l'intégrale est à calculer. Nous donnons pour le lecteur intéressé un exemple simple de son utilisation.

#### 6.4.4 Exemple simple de calcul de la taille d'un îlot de capacité

Soit une organisation fictive à deux relations,  $r_1$  et  $r_2$ , et soit un champ de capacité d'équation  $CA(e_1, e_2) = -e_1^2 - e_2^2 + 10$ , représenté sur la figure 6.4.

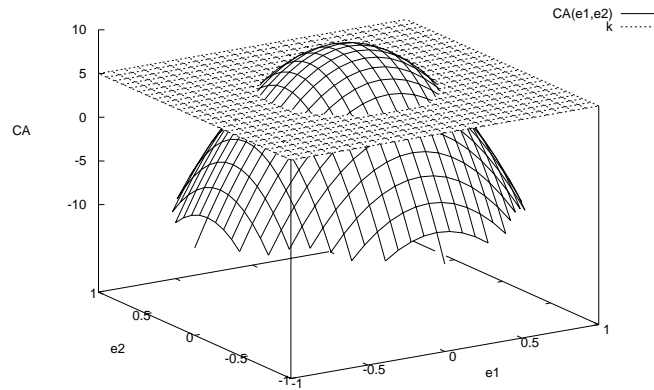


FIGURE 6.4 – Paysage de capacité d'équation  $CA(e_1, e_2) = -e_1^2 - e_2^2 + 10$ . Le plan de niveau  $k = 80\%$  de  $CA_{max}$  est aussi représenté

On désire calculer la taille de l'îlot de capacité de niveau  $k = 80\%CA_{max}$  (le niveau de capacité maximale est de 10 dans ce cas,  $k$  vaut donc 8).

Les points qui constituent cet îlot sont les éléments du plan  $(e_1, e_2)$  pour lesquels le niveau de capacité est supérieur ou égal à  $k$ . On cherche donc l'aire du domaine du plan  $D = \{e = (e_1, e_2) \in [-1; 1]^2 | CA(e) \geq k\}$ , délimité par la courbe de niveau  $k$ , notée  $\mathcal{C}_k$ .

L'équation de  $\mathcal{C}_k$  est la suivante :

$$-e_1^2 - e_2^2 + 10 = k$$

Dans ce cas, l'expression de la courbe de niveau est simple : on reconnaît l'équation d'un cercle centré en  $(0,0)$ , de rayon  $\sqrt{10 - k}$ . En appliquant le théorème Green-Riemann, nous pouvons calculer l'aire du domaine délimité par la courbe de niveau.

On commence par paramétrer l'équation de  $\mathcal{C}_k$  :

$$\mathcal{C}_k(\theta) \begin{cases} e_1(\theta) &= r \cos(\theta) \\ e_2(\theta) &= r \sin(\theta) \end{cases}$$



où  $r$  est le rayon du cercle  $\mathcal{C}_k$  (ici  $r = \sqrt{10 - k}$ ).

Il faut maintenant choisir  $P$  et  $Q$ , de façon à ce que  $\frac{\partial Q}{\partial x} - \frac{\partial P}{\partial y} = 1$ . On peut par exemple prendre  $P(x, y) = 0$  et  $Q(x, y) = x$ .

Par application du théorème, l'aire  $\mathcal{A}_D$  s'écrit :

$$\mathcal{A}_D = \iint_D dx dy = \int_{\mathcal{C}_k} Q \partial y$$

Comme  $Q = x(\theta)$  et  $y(\theta) = r \sin(\theta)$ , on a :

$$\begin{aligned} \mathcal{A}_D = \iint_D dx dy &= \int_0^{2\pi} r^2 \cos^2(\theta) \partial \theta \\ &= r^2 \left[ \frac{1}{2} (\theta + \sin(\theta) \cos(\theta)) \right]_0^{2\pi} \\ &= \pi r^2 \end{aligned}$$

On retrouve (comme prévu !) l'aire du disque :  $\mathcal{A}_D = \pi(10 - k)$

## 6.5 Modèle canonique d'une organisation

Dans cette section, nous abordons la réduction du nombre de relations d'une organisation, en synthétisant les différentes relations contrôlées par un acteur pour n'en former qu'une seule, représentative du comportement global de l'acteur par rapport à tous les autres. Cette réduction a pour conséquence de rendre la matrice d'impacts carrée ce qui permet d'envisager d'autres propriétés.

En opérant une telle réduction, nous perdons fatalement en précision, un acteur pouvant tout à fait être coopératif dans une relation et ne pas l'être dans une autre. Pourtant, par la mise en évidence les comportements des acteurs les uns par rapport aux autres en faisant abstraction du support de ces comportements (les relations), nous restons bien dans le cadre de la SAO : analyser la structure des interactions entre les acteurs ; en se focalisant sur les acteurs, on se situe à un niveau d'abstraction plus élevé que celui du modèle de l'organisation en terme d'acteurs et de relations.

Cette réduction donne un nouveau modèle d'une organisation que l'on peut qualifier de «canonique», comportant autant de relations que d'acteurs. Dans ce modèle, la jacobienne de la matrice des impacts est carrée, ce qui permet d'en calculer le déterminant, dont la valeur rend compte d'une nouvelle propriété. Dans ce modèle canonique d'une organisation, les relations seront qualifiées de *résultantes*, au sens où ces nouvelles relations, plus abstraites, synthétisent les supports du comportement de chacun des acteurs. Il nous faut alors doter ces relations résultantes de fonctions d'effet qui rendent compte de l'ensemble des effets des relations initiales.

### 6.5.1 Fonctions d'effet et impacts résultants

Pour réduire le modèle d'une organisation à sa forme canonique, il faut construire la fonction de transfert résultante des relations qui lient un acteur à un autre. Nous présentons comment agréger les impacts des relations initiales par la somme (bien qu'un autre agrégateur  $\mathcal{A}_\mathbb{A}$  puisse être utilisé, pourvu qu'il soit associatif) : pour un acteur  $a$  dépendant de relations  $r_i$  contrôlées par un acteur  $b$ , on définit la *relation résultante*  $r_{résultante(b,a)}$  des relations  $r_i$  de la façon suivante :

- $b$  contrôle  $r_{résultante(b,a)}$
- $enjeu(a, r_{résultante(b,a)}) = \sum_i enjeu(a, r_i)$
- $effet(a, r_{résultante(b,a)}, e) = \frac{\sum_i impact(a, r_i, e_i)}{\sum_i enjeu(a, r_i)}$

L'impact résultant est donc défini ainsi :

$$\begin{aligned} impact_{résultant(b,a)}(a, r_i, e) &= enjeu(a, r_{résultante(b,a)}) * effet(r_{résultante(b,a)}, a, e) \\ &= \sum_i impact(a, r_i, e_i) \end{aligned}$$

La réduction du modèle d'une organisation à sa forme canonique peut conduire à une perte d'information constituant une déformation excessive de l'organisation. Par exemple, considérons le cas où un acteur  $a$  contrôlerait deux relations  $r_1$  et  $r_2$  dont dépendrait un acteur  $b$  avec des enjeux égaux sur  $r_1$  et  $r_2$ . Si  $effet(b, r_1, e) = -e$  et  $effet(b, r_2, e) = e$ , la fonction d'effet de la relation résultante contrôlée par  $a$  et dont  $b$  dépend serait la fonction nulle, ce qui reviendrait à dire que l'acteur  $b$  ne dépend pas de  $a$  !

Il revient au modélisateur de déterminer si la réduction canonique du modèle d'une organisation est pertinente, c'est-à-dire si les résultats produits par l'étude de ce modèle sont susceptibles d'être interprétés significativement dans les termes de l'organisation.

### 6.5.2 Exemple de transformation d'un modèle d'organisation en modèle canonique

Nous considérons dans cette section un modèle simple d'organisation, issu de la modélisation d'un classique de la SAO : le cas Trouville. La description de ce cas, sa modélisation et l'analyse de ses paysages sont disponibles en annexe, nous reprenons ici le modèle proprement dit.

#### Acteurs et relations

L'organisation comporte deux acteurs : le **directeur** et la **secrétaire**.

La secrétaire contrôle deux relations : l'**information sur l'autre agence** et l'**investissement dans le travail** que nous noterons  $r_{s1}$  et  $r_{s2}$ .

Le directeur contrôle deux relations : le **contrôle du travail** de la secrétaire et la **stabilité de l'emploi** de celle-ci, que nous noterons  $r_{d1}$  et  $r_{d2}$ .

Les enjeux sont répartis de la façon suivante :

	$r_{d1}$	$r_{d2}$	$r_{s1}$	$r_{s2}$
Directeur	2	1	5	2
Secrétaire	4	2	2	2

Dans ce modèle simple, il n'y a aucune solidarité.

#### Fonctions d'effets

Les fonctions d'effets sont les suivantes :

	$r_{d1}$	$r_{d2}$	$r_{s1}$	$r_{s2}$
Directeur	$-0.03e^2 + 5$	$0.3e$	$e$	$e$
Secrétaire	$-0.7e$	$e$	$0.02e^2 + 5$	$-0.03(e + 1)^2 + 2$

**Réduction du modèle** Nous réduisons ce modèle en considérant  $r_d$ , la relation résultante des relations  $r_{d1}$  et  $r_{d2}$  contrôlée par le directeur, et  $r_s$  la relation résultante de  $r_{s1}$  et  $r_{s2}$ , contrôlée par la secrétaire.

Les enjeux posés sur  $r_d$  et  $r_s$  sont donc

	$r_d$	$r_s$
Directeur	3	7
Secrétaire	6	4

Les fonctions d'effet résultantes sont :

Donnons l'allure de ces fonctions d'effets figure 6.5 et 6.6.

	$r_d$	$r_s$
Directeur	$0.02e^2 + 0.1e + 3.33$	$e$
Secrétaire	$-0.13e$	$0.025e^2 + 0.03e + 3.51$

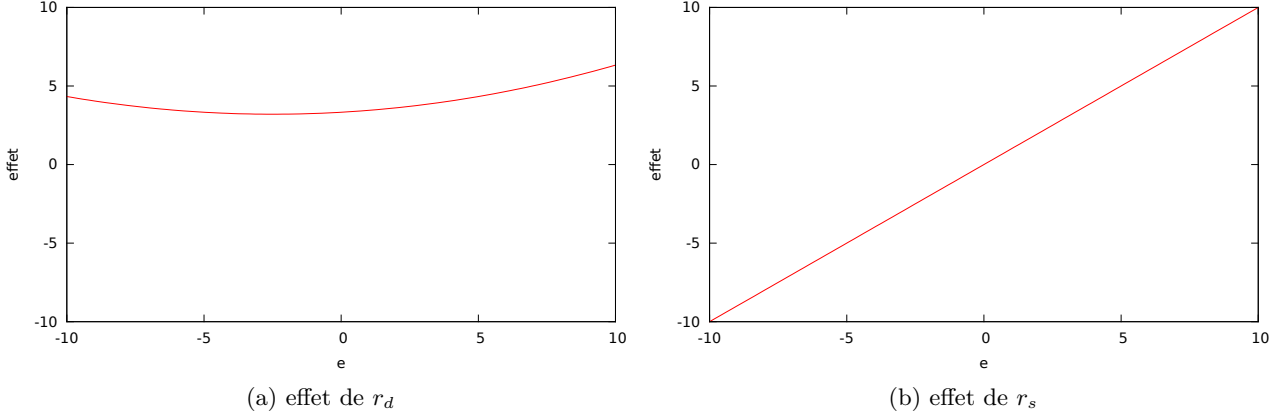


FIGURE 6.5 – Fonctions d’effets résultantes pour le directeur

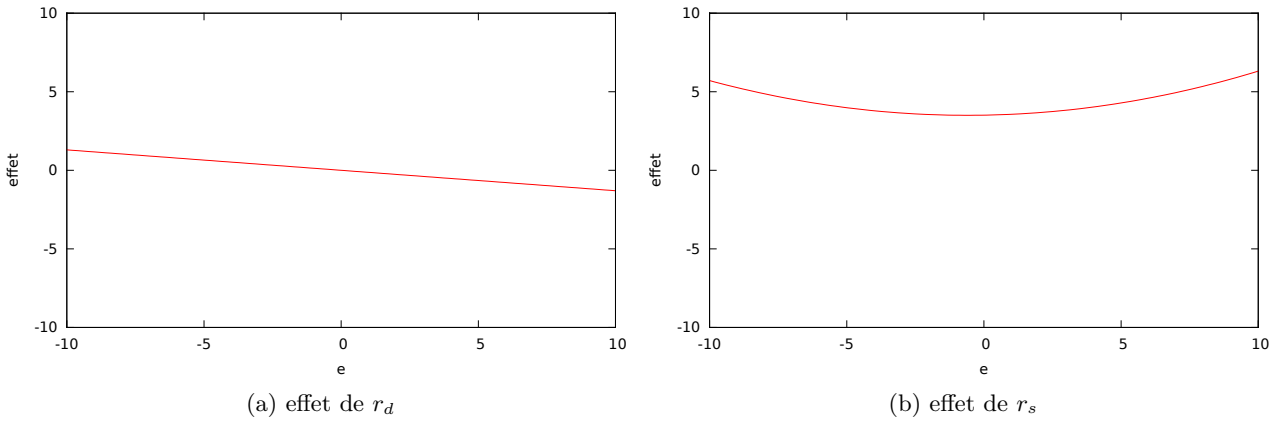


FIGURE 6.6 – Fonctions d’effets résultantes pour la secrétaire

On peut constater que l’amplitude des fonctions d’effets des relations résultantes sur la secrétaire est assez faible. A l’inverse on constate que l’amplitude de la fonction d’effet de la relation résultante  $r_s$  est important pour le directeur ; la relation contrôlée par la secrétaire est celle qui a le plus de force.

L’état des relations résultantes pouvant s’interpréter comme le comportement global des acteurs les uns envers les autres, on peut déduire de l’allure des fonctions d’effets que le comportement de la secrétaire a un effet très marqué sur le directeur alors qu’à l’inverse, un changement de comportement du directeur n’affectera pas beaucoup la secrétaire. C’est le directeur qui se retrouve soumis au bon vouloir de sa secrétaire, en ayant assez peu de moyens d’avoir sur elle un effet (et donc un impact) significatif. Cela reste cohérent avec le cas Trouville, même si l’avantage de la secrétaire semble plus marqué dans le modèle canonique. L’étude qui compare les résultats de simulation dans les deux modèles reste à faire pour s’en assurer.

### 6.5.3 Interprétation du jacobien de la matrice du modèle canonique d’une organisation

A partir du modèle canonique d’une organisation, nous obtenons une matrice d’impacts carrée. La matrice jacobienne de cette matrice est également carrée. On peut en calculer le déterminant, qu’on appelle le *jacobien*.

L'interprétation géométrique du jacobien d'une fonction en un point de son espace de définition rend compte de la dilatation (valeur supérieure à 1) ou de la contraction (valeur inférieure à 1) que fait subir cette fonction à un volume infinitésimal autour de ce point dans son espace image. Le taux de cette amplification est égal à la valeur absolue du jacobien.

Pour un modèle d'organisation canonique, il est donc possible de calculer le jacobien de la matrice de la fonction de transfert. Ce résultat permet de rendre compte de l'amplification (le déterminant est supérieur à 1 en valeur absolue) ou de la contraction (valeur absolue inférieure à 1) induite par la structure du système sur son espace de sortie : la capacité. Nous revenons sur l'interprétation de cette mesure dans le chapitre sept.

Pour détailler ce qu'il en est de ce résultat, prenons comme exemple une application linéaire dans un espace vectoriel à deux dimensions : le plan euclidien.

La valeur du déterminant de deux vecteurs  $u$  et  $v$  du plan euclidien est égale à l'aire du parallélogramme qu'ils délimitent. Supposons qu'on transforme deux vecteurs  $u$  et  $v$  du plan par une application linéaire  $f$ , qui dans ce cas est un endomorphisme<sup>9</sup>. Les vecteurs  $f(u)$  et  $f(v)$ , qui sont l'image de  $u$  et  $v$  par  $f$ , forment également un parallélogramme dont l'aire vaut  $Det(f(u), f(v))$ . Le rapport  $\rho = \frac{Det(f(u), f(v))}{Det(u, v)}$  correspond au taux de dilatation qu'a fait subir la transformation  $f$  au parallélogramme engendré par  $u$  et  $v$ .

Puisque  $f$  est un endomorphisme, on a :

$$Det(f(u), f(v)) = Det(f) \times Det(u, v)$$

En remplaçant dans l'expression de  $\rho$ , on obtient le taux de déformation :

$$\rho = Det(f)$$

Ce résultat est valable dans les espaces de dimension supérieure.

Supposons maintenant que  $f$  ne soit plus linéaire mais une fonction vectorielle différentiable quelconque, de  $\mathbb{R}^2$  dans  $\mathbb{R}^2$ .

Pour un parallélogramme suffisamment petit au voisinage d'un point de  $\mathbb{R}^2$ , nous pouvons calculer l'image de ce parallélogramme par  $f$  en effectuant l'approximation linéaire de  $f$  au voisinage de ce point à l'aide sa matrice jacobienne (cf équation 6.4 de la section 2.1 de ce chapitre).

Soit les points  $X_0, X_1$  et  $X_2$  du plan, tels que  $X_1$  et  $X_2$  soient situés dans le voisinage de  $X_0$ .

Soient  $u$  et  $v$  les vecteurs tels que  $u = \overrightarrow{X_0 X_1}$  de coordonnées  $X_1 - X_0$ , et  $v = \overrightarrow{X_0 X_2}$  de coordonnées  $X_2 - X_0$ .

Ces deux vecteurs engendrent un parallélogramme d'aire  $Det(u, v)$ .

D'après l'équation (6.4), on a

$$\begin{aligned} f(X_1) &\approx f(X_0) + J_f(X_0)(X_1 - X_0) \\ f(X_2) &\approx f(X_0) + J_f(X_0)(X_2 - X_0) \end{aligned}$$

les coordonnées des images  $f(u)$  et  $f(v)$  s'écrivent alors

$$\begin{aligned} f(u) &= \overrightarrow{f(X_0) f(X_1)} = f(X_1) - f(X_0) \\ f(v) &= \overrightarrow{f(X_0) f(X_2)} = f(X_2) - f(X_0) \end{aligned}$$

D'où

$$\begin{aligned} f(u) &\approx J_f(X_0)(u) \\ f(v) &\approx J_f(X_0)(v) \end{aligned}$$

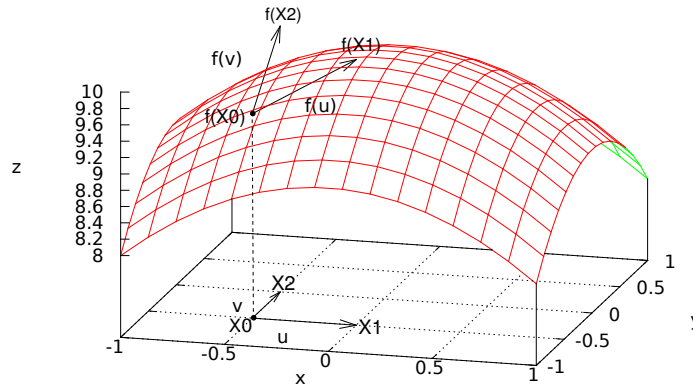


FIGURE 6.7 – Interprétation géométrique du déterminant de l'approximation linéaire d'une fonction

Le ratio  $\rho$  devient :

$$\rho = \frac{\text{Det}(J_f(X_0)(u), J_f(X_0)(v))}{\text{Det}(u, v)}$$

$J_f(X_0)$  est la matrice jacobienne de la fonction  $f$  calculée au point  $X_0$ , . c'est un endomorphisme auquel on applique les deux vecteurs  $u$  et  $v$ , on à donc :

$$\text{Det}(J_f(X_0)(u), J_f(X_0)(v)) = \text{Det}(J_f(X_0)) \times \text{Det}(u, v)$$

Il en découle :

$$\rho = \frac{\text{Det}(J_f(X_0), J_f(X_0)) \times (\text{Det}(u, v))}{\text{Det}(u, v)} = \text{Det}(J_f(X_0))$$

La déformation engendrée par  $f$  au voisinage d'un point est donc bien égale au déterminant de sa matrice jacobienne calculée en ce point, c'est-à-dire son jacobien en ce point. Ce résultat reste valable en dimension supérieure, en considérant cette fois la valeur absolue du jacobien.

Revenons sur l'interprétation de ce résultat. Géométriquement, calculer le jacobien de la matrice d'une fonction vectorielle en un point revient à calculer l'aire d'un élément infinitésimal du *plan tangent* à l'image de la fonction en ce point. La figure 6.7 représente l'image de la fonction dans un repère tridimensionnel  $x, y, z$ , de la façon suivante :

$$f : \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^3$$

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \mapsto \begin{pmatrix} x \\ y \\ f(x, y) \end{pmatrix}$$

Il faut se représenter l'image de  $f$  comme une nappe souple, localement déformée si  $f$  n'est pas linéaire<sup>10</sup>, dont les mailles sont plus ou moins étirées suivant la valeur de son jacobien (voir la figure 6.7).

9. Les endomorphismes d'espaces vectoriels sont des applications linéaires.

10. Car sinon, la jacobienne de  $f$  serait constituée de termes constants, et donnerait un jacobien constant en tout point de l'espace.

## Chapitre 7

# Chapitre 7 : Analyse et interprétation de la topographie des paysages de capacité d'action

### Table des matières

---

<b>7.1</b>	<b>Des configurations d'une organisation aux situations auxquelles elles donnent lieu . . . . .</b>	<b>139</b>
<b>7.2</b>	<b>Appréciation des différents types de situations . . . . .</b>	<b>140</b>
7.2.1	Appréciation d'une situation pour un acteur . . . . .	140
7.2.2	Appréciation d'une situation de l'organisation . . . . .	141
<b>7.3</b>	<b>Paysages d'une organisation . . . . .</b>	<b>141</b>
7.3.1	Les secteurs caractéristiques du relief d'un paysage . . . . .	142
7.3.2	Interprétation dans le cas d'un paysage de satisfaction d'un acteur . . . . .	143
7.3.3	Interprétation dans le cas du paysage de capacité d'action globale d'une organisation . . . . .	144
<b>7.4</b>	<b>A propos de la représentation graphique des paysages . . . . .</b>	<b>144</b>
<b>7.5</b>	<b>Lien entre régulation des comportements et paysages de satisfaction des acteurs . . . . .</b>	<b>146</b>
7.5.1	Stabilité d'une configuration . . . . .	146
7.5.2	Conflits et convergences d'intérêt . . . . .	147
7.5.3	Les conflits structurels . . . . .	149
7.5.4	Disparité entre la capacité d'action et la satisfaction d'un acteur . . . . .	149
<b>7.6</b>	<b>Paysages globaux et potentialités de la structure d'une organisation . . . . .</b>	<b>151</b>
7.6.1	La taille des îlots de bonne capacité et contraintes imposées par l'organisation . . . . .	151
7.6.2	Propositions pour le choix du niveau définissant les îlots satisfaisants . . . . .	154
7.6.3	Interprétation du jacobien de la fonction de transfert du modèle canonique d'une organisation . . . . .	154
<b>7.7</b>	<b>Application au cas Plan International . . . . .</b>	<b>155</b>
7.7.1	Notations . . . . .	155
7.7.2	Modèle 1 . . . . .	155
7.7.3	Modèle 2 . . . . .	160
7.7.4	Calculs d'îlots dans les paysages de satisfaction des acteurs de Plan International . . . . .	162
<b>7.8</b>	<b>Analyse structurelle des réseaux de pouvoirs . . . . .</b>	<b>164</b>
7.8.1	Pouvoir et Centralités dans un réseau social . . . . .	165
7.8.2	Analyse des réseaux de pouvoir extraits d'un modèle d'organisation . . . . .	165
7.8.3	Équivalence structurelle dans un réseau de pouvoir . . . . .	166

---

Les outils d'analyse présentés dans le chapitre précédent nous ont permis de mettre en lumière certaines propriétés mathématiques des champs de capacité des acteurs d'une organisation et d'une organisation dans son ensemble ; dans ce chapitre, nous examinons l'interprétation sociologique de ces propriétés. Ces propriétés portent principalement sur le relief d'un champ de capacité, qu'il s'agisse de celui d'un acteur ou de celui de l'organisation, et elles concernent soit un secteur de ce champ, au voisinage d'un point particulier, soit le champ dans son ensemble.

Ce chapitre se focalise sur l'étude de la capacité d'action et la satisfaction d'une organisation dans son ensemble et de ses acteurs ; ces techniques s'appliquent tout aussi bien aux champs de pouvoir et d'influence, mais nous ne les détaillerons pas.

Ces propriétés permettent d'éclairer les résultats de simulation et certaines caractéristiques de la structure du système : l'algorithme de simulation du comportement des acteurs, en se régulant vers un état particulier de l'organisation, va exhiber une certaine situation, à laquelle correspondent différents niveaux de capacité d'action pour les acteurs du jeu. L'analyse mathématique de la topographie du champ permet d'une part de mieux situer cet état "résultat" de la simulation, de mieux comprendre pourquoi le jeu social s'est stabilisé dans cette configuration, de comparer cette situation résultat avec d'autres situations avoisinantes ou similaires et d'en estimer la stabilité potentielle.

D'autre part, les propriétés globales d'un champ caractérisent l'ensemble des situations possibles au sein de l'organisation. Cela permet d'établir des relations entre différentes situations, de définir des classes d'équivalences parmi ces situations, et, plus généralement, d'explorer les potentialités de l'organisation en déterminant les zones de ces paysages pour lesquels sont reçus de bons niveaux de capacité, et en caractérisant le nombre et la dispersion de ces zones. Par exemple, certains dysfonctionnements de l'organisation peuvent être diagnostiqués, comme l'existence de conflits structurels entre deux acteurs ; la stabilité d'une situation peut être quantifiée, en évaluant pour chaque acteur si une perturbation de l'état de l'organisation entraînerait une variation significative de sa capacité d'action, le conduisant à réagir et provoquant dans certaines conditions une réaction en chaîne qui conduirait à une nouvelle situation organisationnelle. Sur la base de cette analyse, il est possible d'envisager une estimation de la *coopérativité* d'une organisation, i.e. la façon dont, par sa structure, elle favorise ou non l'établissement et le maintien d'une bonne coopération entre les acteurs. Notons dès à présent que cette notion de coopérativité n'a de sens que si les acteurs ont effectivement intérêt à coopérer : l'effet de la structure de l'organisation doit non seulement inciter à coopérer, mais également garantir des rétributions telles que la coopération sera préférée au comportement égoïste.

## 7.1 Des configurations d'une organisation aux situations auxquelles elles donnent lieu

Au chapitre précédent, nous avons présenté un certain nombre d'outils permettant d'analyser les propriétés d'une organisation vue comme un système régulé produisant de la capacité d'action à partir de la coopérativité des comportements des acteurs qui la constituent. Il s'agit maintenant d'interpréter les résultats de cette analyse en indiquant comment ils peuvent s'interpréter en termes de propriétés sociologiques susceptibles de caractériser l'organisation modélisée.

Commençons par rappeler l'interprétation de la fonction de transfert de l'organisation, et des espaces sur lesquels elle est définie. La fonction de transfert des capacités d'action d'une organisation est la fonction vectorielle dont la matrice est la matrice des impacts  $I(e)$ , définie sur l'espace des comportements de l'organisation  $EC^m$ . C'est une matrice de taille  $(n, m)$ , dont l'élément  $I(e)_{i,j}$  est l'impact que reçoit l'acteur  $i$  de la relation  $j$ , lorsque que l'organisation est dans l'état  $e$ .

Afin d'adopter une terminologie plus proche de la sociologie, nous appellerons *configuration* de l'organisation un vecteur  $e = (e_1, \dots, e_m)$  correspondant à un état de l'organisation : c'est la façon dont les acteurs se comportent les uns par rapport aux autres dans la gestion des relations que chacun contrôle. Nous appellerons *situation* la matrice d'impacts résultat d'une certaine configuration  $e$ . Une situation indique ce qui résulte des comportements adoptés par les acteurs en termes de capacité.

La transformation d'une configuration en situation est déterminée par la structure de l'organisation. La fonction de transfert qui réalise cette transformation n'est ni injective, ni surjective. Ainsi, des configurations différentes peuvent donner lieu à une même situation, tout comme certaines situations

ne sont pas possibles de par la structure de l'organisation : aucune configuration ne procure de telles capacités d'action.

Une situation décrit le résultat d'une configuration pour l'ensemble des acteurs de l'organisation ; aussi faudra-t-il mobiliser les informations qu'elle contient de façon spécifique selon qu'on s'attache à l'étudier du point de vue d'un acteur ou du point de vue de l'organisation dans son ensemble, ou qu'on désire distinguer des éléments constitutifs de cette situation à l'aide d'autres critères structurels, comme la matrice de contrôle ou la matrice des solidarités.

## 7.2 Appréciation des différents types de situations

Soit, pour une organisation donnée, une situation résultant d'une certaine configuration. Il s'avère que cette situation peut être appréciée de différentes façons, selon les éléments de la structure de l'organisation qui sont pris en compte et la façon dont ils sont agrégés. Les indicateurs situés (cf. chapitre 3 section 4) d'un modèle d'organisation sont mobilisés lors de cette appréciation. On peut donc apprécier une situation du point de vue d'un acteur, d'une dyade d'acteurs ou de l'organisation dans son ensemble.

### 7.2.1 Appréciation d'une situation pour un acteur

#### Les constituants de la situation d'un acteur

Un acteur  $a$  de l'organisation est en interaction avec les autres acteurs de l'organisation par l'intermédiaire des relations qu'il contrôle et dont il dépend, ainsi que par les solidarités qu'il entretient avec eux.

La situation d'un acteur  $a$  peut donc être filtrée selon les constituants qui interviennent dans l'évaluation de cette situation : soit selon les relations dans lesquelles  $a$  est engagé (qu'il contrôle et dont il dépend), soit selon les acteurs auxquels il est lié par des solidarités. On a les types de situations suivants :

- (i) Les situations constituées des impacts des relations dont  $a$  dépend, pour le calcul de sa capacité d'action.

$$S(a, e) = \{impact(r, a, e)\}$$

Il s'agit du vecteur constitué de la ligne de  $I(e)$  qui correspond à  $a$ , dans lequel seuls les termes correspondant aux relations dont  $a$  dépend sont non nuls.

- (ii) Les situations constituées des impacts des relations que  $a$  contrôle sur les acteurs qui en dépendent, pour le calcul de son pouvoir.

$$S(a, e) = \{impact(r, b, e); a \text{ contrôle } r\}$$

Cette matrice est la matrice d'impact dans laquelle les colonnes correspondant aux relations non contrôlées par  $a$  sont remplacées par le vecteur nul.

En prenant en compte les solidarités entre acteurs, on a les deux types de situations suivants :

- (iii) Les situations formées des impacts des relations dont dépendent les acteurs avec lesquels  $a$  est solidaire, pour le calcul de la satisfaction de  $a$ .

$$S(a, e) = \{sol(a, b) * impact(r, b, e)\}$$

Il s'agit de la matrice d'impact dans laquelle chacun des termes de la ligne correspondant à un acteur sont multipliés par la solidarité de  $a$  pour cet acteur.

- (iv) Les situations formées par l'ensemble des impacts des relations que  $a$  contrôle sur les acteurs qui en dépendent, en tenant compte des solidarités.

$$S(a, e) = \{sol(a, b) * impact(r, b, e); a \text{ contrôle } r\}$$



Cette matrice est la même que la précédente dans laquelle les colonnes correspondant aux relations non contrôlées par  $a$  sont remplacées par le vecteur nul.

S'agissant d'évaluer une situation de l'ensemble d'une organisation, on retrouve les mêmes types de situations en rendant libre la variable  $a$ . Par exemple, s'agissant de la capacité d'action globale de l'organisation, cette situation est définie à partir de la matrice d'impact :

$$S(e) = \{impact(r, a, e)\}$$

### Agrégations des constituants de la situation d'un acteur

Le filtrage des éléments d'une situation que nous venons d'exposer réduit significativement le nombre (et donc la difficulté d'interprétation) des informations à considérer pour évaluer une situation d'un acteur. Ce nombre diffère suivant la position structurelle de l'acteur  $a$  considéré : il dépend du nombre de relations dans lesquelles  $a$  est engagé et du nombre d'acteurs desquels il est solidaire.

C'est pourquoi, pour rendre les situations d'acteurs comparables, qu'il s'agisse des situations de deux acteurs dans une même configuration ou de celles d'un même acteur dans des configurations différentes, il nous faut agréger les éléments qui les constituent en une seule valeur, calculable quelque soit le nombre d'éléments qui interviennent dans la définition de ces situations.

Différentes façons de procéder à cette agrégation ont été abordées au chapitre 6. On pourra remarquer que, au chapitre trois, les indicateurs que nous avons définis le sont en utilisant les agrégateurs somme, moyenne, sup ou inf.

En pratique, lorsqu'il s'agit d'évaluer la situation d'un acteur, nous utilisons le plus souvent la satisfaction de l'acteur, car c'est l'indicateur qui est utilisé lors de la simulation de la régulation des comportements, et qui guide la recherche d'une configuration stabilisée. L'interprétation de l'espace des situations eu égard à la satisfaction est détaillée dans la section 7.3.2.

### 7.2.2 Appréciation d'une situation de l'organisation

S'agissant d'une situation du point de vue de l'ensemble de l'organisation, une agrégation supplémentaire doit être faite puisque tous les acteurs entre en ligne de compte.

L'agrégation la plus simple consiste à considérer la somme de tous les éléments de la matrice d'impact (ce qui revient à considérer la capacité d'action globale de l'organisation). Nous sommes conscients du caractère approximatif d'une évaluation de la capacité d'une organisation à réaliser ses objectifs comme la somme de celles des acteurs la composant : les mauvaises capacités d'action ne sont pas nécessairement compensées par les bonnes. D'autres formes d'agrégation peuvent être considérées, par exemple le produit des capacités individuelles qui favorise les configurations égalitaires, ou une intégrale de Choquet [Grabisch, 2006]. Les propriétés de l'espace de ces situations ainsi agrégées sont discutées dans la section 7.3.3.

## 7.3 Paysages d'une organisation

Dans cette section, nous considérons des situations agrégées en une valeur scalaire qui constitue donc un champ scalaire. Un tel champ décrit la répartition de la valeur de l'évaluation de la situation sur l'ensemble de l'espace des configurations.

La topographie, le relief de ces champs que nous appelons *paysages*, est façonnée par la structure de l'organisation, et est décrite par l'expression analytique des opérateurs d'agrégation choisis pour l'évaluation des situations.

Ces paysages de capacité sont l'objet central de ce travail : ils décrivent la dynamique fonctionnelle de l'organisation, i.e. les conséquences des configurations que les acteurs sont susceptibles d'adopter sur leur situation, selon les différentes manières de l'évaluer.

L'analyse du relief des paysages conduit à distinguer deux catégories de propriétés, suivant qu'on désire qualifier une situation particulière ou l'ensemble des situations possibles au sein de l'organisation.

Concernant ces dernières, l'analyse d'un paysage permet, en représentant de façon synthétique l'ensemble des situations possibles, de mettre en perspective les situations les unes par rapport aux

autres, et, du fait de la continuité des paysages, d'évaluer les situations immédiatement voisines et les propriétés des chemins qui vont de l'une à l'autre : c'est une *cartographie* des situations de l'organisation.

D'autre part, considérer un paysage dans son ensemble permet de découvrir le potentiel de l'organisation au sein de laquelle s'opère la régulation, au sens de la variété des situations que sa structure autorise. L'interprétation de ces propriétés en termes sociologiques permet de mieux comprendre les raisons qui poussent les acteurs à adopter les comportements qu'ils adoptent, comme un effet induit par la structure de l'organisation.

### 7.3.1 Les secteurs caractéristiques du relief d'un paysage

A titre d'exemple, et par commodité de notations, nous considérons dans cette section que les situations sont agrégées par la somme. Nous considérons donc des situations eu égard à la capacité d'action, sans toute fois préciser de qui (un acteur ou l'organisation) il s'agit.

Les composantes du gradient de capacité, fournies par les lignes de la matrice jacobienne des impacts, nous donnent la variation de capacité d'action en fonction des variations des états des relations, calculée en un point de l'espace d'état  $e = \{e_1, \dots, e_i, \dots, e_n\}$ .

$$\nabla(CA, e) = \begin{pmatrix} \frac{\partial CA}{\partial e_1} \\ \vdots \\ \frac{\partial CA}{\partial e_i} \\ \vdots \\ \frac{\partial CA}{\partial e_n} \end{pmatrix}$$

Cela permet de connaître, pour chaque dimension du paysage et en tout point  $e$  de l'espace d'état, le sens et l'intensité de la "pente" du paysage de capacité.

La valeur absolue des composantes du gradient nous donnent le taux d'accroissement de la capacité d'action, i.e. la raideur de la pente du paysage selon chaque composante, et son signe nous indique si un déplacement positif dans l'espace des états entraîne une diminution ou une augmentation de la valeur de capacité au voisinage de ce point.

L'analyse de ce gradient sur l'espace des configurations permet, comme le tableau de variation d'une fonction réelle, de connaître les variations du relief du paysage.

### Points critiques d'un paysage

Par analogie avec un relief réel, la topologie d'un paysage, lorsqu'il n'est pas monotone, est constituée d'éminences, de crêtes, de vallées et de dépressions.

Le sommet d'une éminence sera un maximum (éventuellement local) du paysage de capacité, de même que le fond d'une dépression sera un minimum du paysage, et qu'un ensemble connexe de maxima ou minima locaux constituera une crête ou une vallée de ce paysage.

Ces extrema correspondent aux points *critiques* d'un champ, qui sont les configurations qui annulent le gradient du champ. Les coordonnées de ces points particuliers sont obtenues en résolvant l'équation  $\nabla CA(e) = \vec{0}$ . Leur nature est révélée par la matrice Hessienne de la fonction d'agrégation en ce point. Si les valeurs propres de cette matrice en ce point sont négatives, le point est un maximum, si elles sont positives, le point est un minimum. Enfin si les valeurs propres sont de signes différents, il s'agit d'un point selle (voir Figure 1).

### Monotonies dans un paysage

Lorsqu'une des dimensions du gradient est constante, il n'y a pas d'extremum local (si ce n'est aux extrémités de cette dimension) ou de configuration particulière selon cette dimension dans le paysage de capacité. Une telle relation définit donc un «axe» dans le champ de capacité, selon lequel la capacité d'action varie de façon constante.

Un tel axe s'interprète comme le fait que la relation mise en jeu ne dissimule pas de surprise, que son influence sur la situation est linéaire (voir Figure 7.2).

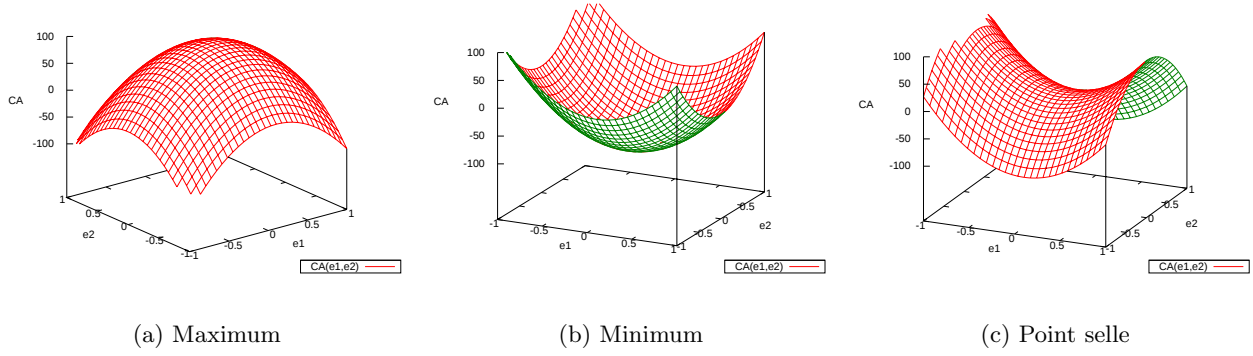


FIGURE 7.1 – Représentation de points critiques d'un paysage

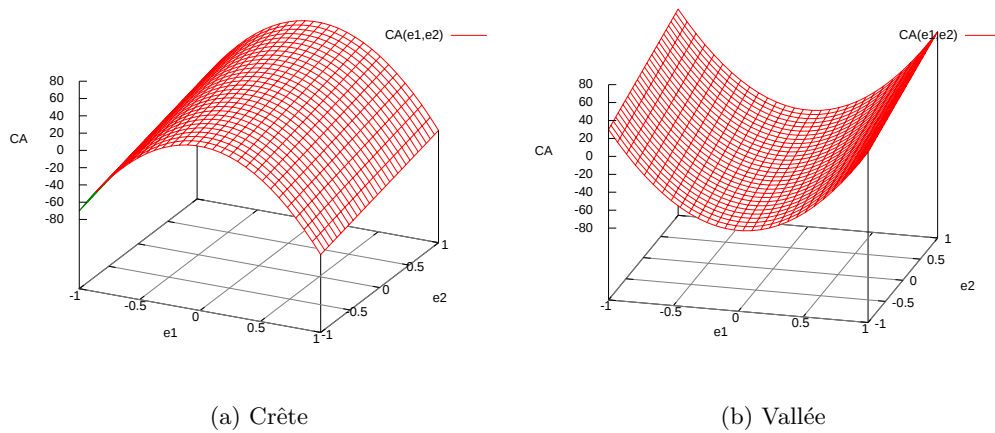


FIGURE 7.2 – Représentation des régularités d'un paysage tridimensionnel

### Ilots et éminences d'un paysage

De façon générale, les éminences et les dépressions (cf. chapitre 6) d'un paysage sont les secteurs où il prend ses valeurs extrêmes. Pour un certain niveau  $k$ , les éminences (respectivement dépressions) d'un paysage de capacité sont constituées des situations qui procurent une capacité supérieure (resp. inférieure) à  $k$ .

Les îlots correspondent d'une certaine manière à des classes d'équivalence de configurations. Les configurations étant représentatives de comportements dans l'organisation, ces classes d'équivalence sont des modes de fonctionnement assurant un niveau de performance minimal (ou maximal).

### 7.3.2 Interprétation dans le cas d'un paysage de satisfaction d'un acteur

Un paysage particulièrement significatif du point de vue d'un acteur est le paysage de sa satisfaction. L'ajustement du comportement d'un acteur est mené par un méta-objectif, qui consiste à obtenir une satisfaction suffisante compte tenu de son ambition, (cf. chapitre cinq section 3.1). Bien que rien n'empêche, à des fins d'analyse, de considérer le paysage de pouvoir ou de capacité d'action d'un acteur, il est plus instructif de considérer le "paysage du méta-objectif", à savoir le paysage formé par les situations évaluées selon le méta-objectif qu'il poursuit. On pourrait dire que, pour un acteur, son paysage de satisfaction constitue le terrain du jeu social, l'ensemble des situations dans lesquelles il peut se trouver, *telles qu'il les perçoit*, terrain que l'algorithme d'apprentissage présenté au chapitre 5 lui fait explorer.

Dans un paysage de satisfaction, certains secteurs sont plus intéressants que d'autres, en ce qu'ils correspondent aux situations dans lesquelles l'acteur est raisonnablement proche de son méta-objectif.

Ces secteurs sont les éminences du paysage pour un niveau de satisfaction considéré comme satisfaisant<sup>1</sup> pour l'acteur. Du fait de la dimension stratégique du comportement des acteurs sociaux, un acteur cherchera à placer l'organisation dans une configuration appartenant à un îlot correspondant à l'une de ces éminences. Un acteur peut se déplacer partiellement dans son paysage de satisfaction : dans la mesure où il contrôle certaines des relations dont il dépend, il peut fixer la valeur des états d'une partie des dimensions de son paysage. Il peut aussi inciter les acteurs dont il dépend à opérer de tels déplacements, en réaction à son propre comportement.

Précisons que, du fait de l'hypothèse de rationalité limitée des acteurs sociaux, un acteur ne saurait appréhender, dans son raisonnement, la totalité de son paysage de satisfaction (bien que cela ne lui suffirait pas pour raisonner en information complète). Néanmoins, il n'est pas irréaliste de supposer que, dans une certaine configuration, un acteur peut obtenir par l'exploration des indications sur la direction dans laquelle peut évoluer sa situation dans les configurations immédiatement voisines, ce qui revient à connaître son gradient de satisfaction.

### 7.3.3 Interprétation dans le cas du paysage de capacité d'action globale d'une organisation

Lorsqu'il s'agit d'évaluer les situations dans laquelle une organisation peut se trouver, le paysage adéquat est celui de la capacité d'action globale.

Cet indicateur, qui donne la valeur agrégée des capacités d'action des acteurs de l'organisation, rend compte de la qualité du fonctionnement de l'organisation. Un haut niveau de capacité globale signifie que les comportements adoptés par les acteurs leur permettent d'atteindre leurs objectifs, et, par extension ceux de l'organisation, en fonction de la pertinence de l'opérateur d'agrégation utilisé et de la compatibilité des objectifs des acteurs avec la raison d'être de l'organisation.

L'une des caractéristiques constitutives des organisations sociales réside dans le fait que les comportements adoptés par les acteurs sont situés dans un contexte d'interdépendance. Un niveau de capacité d'action élevé pour un acteur signifie donc que les acteurs dont il dépend se comportent de façon suffisamment coopérative pour qu'il puisse atteindre ses objectifs. Par conséquent, la capacité globale permet de rendre compte de la qualité de la coopération qui s'établit entre les acteurs dans une configuration donnée : un niveau élevé de capacité globale implique que, globalement, les acteurs se comportent de telle façon que chacun dispose des moyens de son action. Un paysage de capacité globale illustre donc la répartition de la qualité de la coopération dans l'espace des configurations.

Dans un paysage de capacité globale, et pour un niveau de capacité  $k$  donné, les îlots de niveau  $k$  s'interprètent comme les modes de fonctionnement de l'organisation qui lui permettent d'atteindre ce niveau de réalisation de ses objectifs, dans la mesure de l'adoption des objectifs de l'organisation par chacun de ses acteurs. Pour autant, un niveau de satisfaction globale élevé n'est pas nécessairement socialement faisable : si l'un des acteurs n'est pas du tout satisfait par la configuration correspondante, il fera ce qui est en son pouvoir pour s'y opposer, nous y reviendrons en 7.5.1.

## 7.4 A propos de la représentation graphique des paysages

Un paysage est bien plus facile à appréhender si on peut en visualiser une représentation graphique. Se pose alors le problème du nombre de dimensions de l'espace des configurations sur lequel porte la distribution des situations. Concrètement, le nombre de maximum de dimensions dont on puisse facilement donner une représentation graphique est de 3, bien que d'autres techniques avancées puissent repousser cette limite (au prix d'un certain effort)[Wiles and Tonkes, 2006].

Le cas le plus simple est la visualisation d'un paysage tridimensionnel : les axes  $x$  et  $y$  représentant deux relations et l'axe  $z$  le niveau de l'indicateur choisi pour le paysage. Pour représenter un paysage à

---

1. Pratiquement, cela revient pour le modélisateur à choisir un niveau de satisfaction  $k$  qu'il estime satisfaisant, et à étudier le sous-ensemble des situations dans lesquelles la capacité est supérieure à  $k$ . De la même façon, en fixant  $k$  à une valeur insuffisante, considérer l'ensemble des points du paysage dont le niveau de satisfaction est inférieur à  $k$  revient à étudier l'ensemble des situations dans lesquelles l'acteur ne dispose pas des moyens nécessaires à son action.

trois relations, il est encore possible de représenter partiellement un paysage dans un cube discrétisé : les axes  $x$ ,  $y$  et  $z$  représentent trois relations, et un voxel de coordonnées  $(x, y, z)$  sera dessiné s'il atteint un certain niveau de capacité.

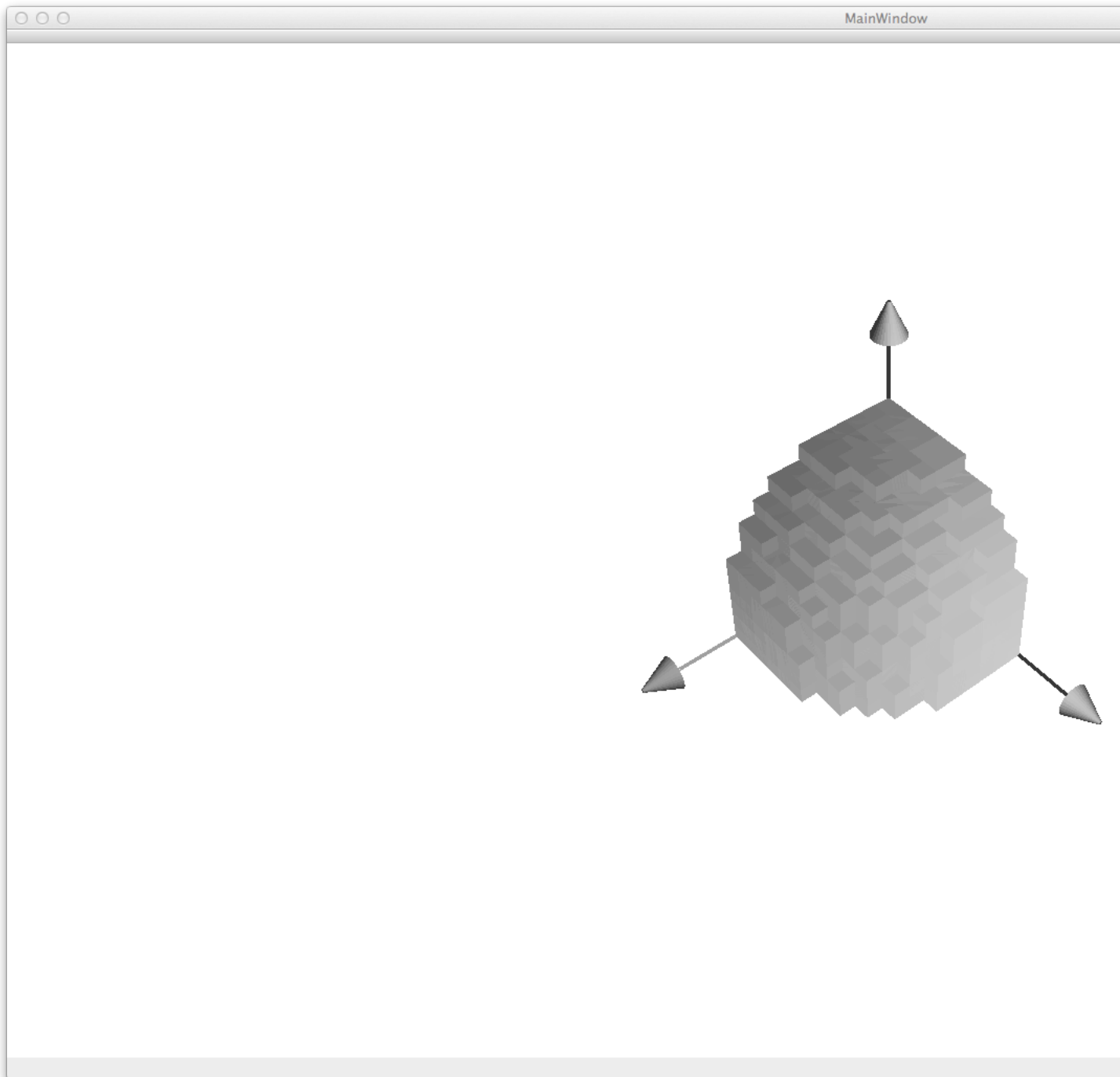


FIGURE 7.3 – Représentation graphique d'un îlots constitués de voxels

Si le nombre de dimensions d'un paysage dépasse trois, il faudra se résoudre à perdre de l'information . Lorsqu'on dispose de résultats d'expériences de simulation, une analyse en composantes principales des régulations calculées permet de connaître les combinaisons linéaires de dimensions qui expliquent le mieux les résultats de simulation. Les deux (ou trois) premières composantes principales peuvent alors être utilisées comme axes pour tracer des paysages de la façon évoquée ci-dessus. L'interprétation des situations ou des secteurs de ces paysages est plus difficile, puisqu'il s'agit de combinaisons linéaires des relations de l'organisation (cf. la section 4 du chapitre cinq), qui de ce fait ne s'interprètent pas directement comme des comportements. Si cela s'avère nécessaire, il faut alors

aller regarder plus précisément ce qu'il en est. i

Enfin, au cas par cas, il est parfois possible de réduire le nombre de dimensions d'un paysage en sommant les impacts des relations dont le sens de variation est identique.

## 7.5 Lien entre régulation des comportements et paysages de satisfaction des acteurs

Dans cette section, nous nous concentrons sur les propriétés des paysages susceptibles d'influencer le comportement des acteurs et le processus de leur régulation. Il s'agit d'un des objectifs de la SAO, qui vise à comprendre et analyser l'influence mutuelle qui s'exerce entre la structure d'une organisation et le comportements des acteurs qui la constituent. On peut remarquer que, dans la plupart des organisations réelles qui ont été modélisées, la prise en compte des solidarités des acteurs a tendance à "lisser" les paysages de satisfaction des acteurs, et donc à assurer une meilleure stabilité de l'organisation. Cela tient à ce que les solidarités d'un acteur le conduisent à répartir ses enjeux sur un plus grand nombre de relations. Nous reviendrons en 5.4 sur l'effet des solidarités sur l'évaluation des situations. Nous ne traitons ici que de l'influence de la structure sur le comportement des acteurs. La façon dont les acteurs sont susceptible de faire évoluer la structure d'une organisation sera abordé au chapitre huit.

### 7.5.1 Stabilité d'une configuration

La simulation de la régulation des comportements des acteurs (cf. chapitre 5) cherche à calculer des configurations stabilisées, dans lesquelles chaque acteur s'estime satisfait et ne modifie plus l'état des relations qu'il contrôle. C'est en calculant en comparant sa satisfaction avec son ambition qu'un acteur évalue sa situation dans le jeu et c'est, entre autres, l'écart avec la satisfaction obtenue dans la situation précédente qui décide de son action future, les variations de satisfaction le poussant à modifier son comportement.

Le *gradient de satisfaction* d'un acteur  $a$  exprime la variation de sa satisfaction, lorsqu'il quitte une situation pour une de ses voisines immédiates dans le paysage. La valeur de la norme de ce gradient, calculée en un point du paysage, donne la "raideur de la pente" en ce point. Nous interprétons cette norme comme la *stabilité* de la situation de l'acteur, c'est à dire la possibilité qu'une petite variation de comportement d'un acteur n'entraîne pas un changement important de l'état de l'organisation. Il ne peut s'agir que d'une possibilité puisque le comportement des acteurs est indéterministe.

En effet, supposons que les comportements des acteurs d'un organisation se soient stabilisés en une configuration  $e_0$ , et considérons le gradient de satisfaction d'un acteur  $a$  dans cet état  $e_0$ . Si la norme du gradient  $\nabla Satis(a, e_0)$  est petite, une légère inflexion dans le comportement des acteurs qui contrôlent les relations dont dépend  $a$  n'aura pas pour conséquence une variation importante de sa satisfaction. Du point de vue du paysage de satisfaction de  $a$ , cela signifie que le voisinage de  $e_0$  est en pente douce. Dans ce cas, sa satisfaction n'est pas fondamentalement remise en cause par une perturbation : rien ne poussera cet acteur à modifier significativement son comportement.

A l'inverse, si la norme du gradient est importante, cela signifie que le point  $e_0$  se situe dans une zone du paysage où le relief est escarpé. Dans ce cas, le moindre ajustement du comportement des acteurs dont dépend  $a$  est susceptible d'entraîner une variation significative de sa satisfaction, le plaçant dans une situation sensiblement différente. Ce changement de situation peut amener l'acteur à modifier son comportement, notamment dans le cas où ce changement de situation fait chuter significativement la valeur de sa satisfaction. Pour se sortir de cette situation défavorable, l'acteur va agir sur les relations qu'il contrôle. Si ces relations sont susceptibles de perturber significativement la satisfaction d'(au moins) un autre acteur dont la situation est elle aussi instable, ce dernier va réagir à son tour, et, de proche en proche, par une réaction en chaîne, l'organisation va se retrouver dans un état sensiblement différent.

Rien ne nous permet de déterminer *a priori* si cette réaction en chaîne se produira effectivement, ni si la situation finale sera différente de la situation initiale : cela dépend de l'allure des paysages de satisfaction des autres acteurs et du processus de régulation des comportements à partir de la nouvelle situation qu'induit la perturbation.

Néanmoins, calculer les normes des gradients de capacité de tous les acteurs permet d'évaluer si leurs paysages de capacité sont propices à une telle réaction en chaîne. On peut considérer le produit de ces normes pour estimer la stabilité "globale" d'une configuration. Si, dans une configuration  $e_0$ , le produit des normes des gradients de satisfaction des acteurs est élevé, certains acteurs sont dans une situation instable, et une perturbation de l'état du organisation peut entraîner une réaction de leur part.

Au contraire, si dans l'état  $e_0$ , les normes des gradients de capacité des acteurs sont petites, la satisfaction des acteurs ne sera que peu affectée par une petite variation des comportements, la situation étant globalement stable pour tous les acteurs de l'organisation.

Ainsi, la condition "les paysages de satisfaction des acteurs sont escarpés au voisinage de  $e_0$ " est nécessaire, mais pas suffisante pour que la situation de l'organisation soit significativement affectée par une perturbation. Pour que la réaction en chaîne ait lieu, il faut que l'un des acteurs instables et perturbés contrôle au moins une relation susceptible de perturber un ou des acteurs eux-mêmes en situation instable ; si tel n'était pas le cas, le changement de son comportement n'aura que peu d'effet sur les autres acteurs, n'entraînant pas de réaction en chaîne.

### 7.5.2 Conflits et convergences d'intérêt

Dans cette section, nous étudions un autre indicateur, dyadique cette fois, qui rend compte de l'existence de conflits ou de convergences d'intérêt à partir de la similarité entre deux paysages de satisfaction. Ces similarités peuvent être locales, limitées à une région de l'espace des configurations, ou structurelles si elles concernent l'ensemble de cette espace. Elle peuvent concerner deux acteurs, ou bien un acteur vis à vis de l'ensemble de l'organisation ou d'un sous-groupe de celle-ci. Nous n'abordons ci-dessous que les conflits et convergences entre deux acteurs, la technique étant exactement la même s'agissant des rapports entre un acteur et le reste de l'organisation. La structure d'une organisation produit des paysages de satisfaction différents pour chaque acteur : ces paysages sont modélisés par leur propres enjeux et les fonctions d'effets, et n'ont donc aucune raison d'être semblables, chacun poursuivant des objectifs qui lui sont propres.

Pourtant, si les paysages des acteurs sont biens distincts, ils peuvent présenter des similarités de relief au voisinage de certaines situations : dans certaines circonstances, les intérêts de deux acteurs peuvent converger et ils peuvent tous les deux souhaiter que l'état du système change dans une même direction, avec pour conséquence une modification de leurs niveaux de satisfaction qui soit profitable à chacun d'eux.

Pour étudier ces similarités locales, nous considérons le produit scalaire des gradients de satisfaction des acteurs calculés en un point.

#### Produits scalaires de gradients de satisfaction

Considérons deux acteurs,  $a$  et  $b$ , dans une organisation régulée dans un certain état  $e_o$ .

La valeur du produit scalaire normalisé des gradients de satisfaction  $\nabla Satis(a, e_o)$  et  $\nabla Satis(b, e_o)$  rend compte de la similarité du relief de leurs paysages au voisinage de l'état  $e_o$  et s'écrit :

$$\frac{\langle \nabla Satis(a, e_o) \cdot \nabla Satis(b, e_o) \rangle}{\|\nabla Satis(a, e_o)\| \cdot \|\nabla Satis(b, e_o)\|}$$

Une valeur proche de 1 signifie que les paysages de satisfaction de  $a$  et  $b$  sont très similaires, quasiment superposables (à une translation près selon l'axe de leur satisfaction) au voisinage de cet état. Ainsi, toute variation  $\delta e$  de l'état du système entraînera une variation de satisfaction similaire pour les deux acteurs, les intérêts des deux acteurs sont convergents.

Si la valeur du produit scalaire des deux gradients est proche de -1, cela signifie que les acteurs sont en situation de conflit dans l'état  $e$  : la direction dans laquelle  $a$  aurait intérêt à voir évoluer le

système est l'opposée de celle de  $b$ . Si la valeur du produit scalaire est proche de 0, les intérêts des deux acteurs sont indépendants l'un de l'autre.

Le produit scalaire normalisé des gradients calculé en un point de l'espace d'état rend compte de la similarité des paysages de  $a$  et de  $b$ , selon toutes ses dimensions. Mais ces dimensions n'ont pas toutes le même statut : certaines sont contrôlées par  $a$ , d'autres par  $b$ , d'autres par des tiers. Nous distinguons dans les sections suivantes les différents produits scalaires de gradients que nous pouvons calculer, selon qu'on considère ou non les relations qu'un des acteurs contrôle.

Nous introduisons pour cela les gradients suivants :

- $\nabla_C Satis(a, e)$  est le gradient de satisfaction de l'acteur  $a$  restreint aux relations qu'il contrôle. Les composantes correspondant aux relations qu'il ne contrôle pas sont remplacées par 0.
- $\nabla_D Satis(a, e)$  est le gradient de satisfaction de l'acteur  $a$  restreint aux relations qu'il ne contrôle pas.

(Rappelons que les composantes correspondants aux relations dont un acteur ne dépend pas sont nulles).

### Co-dépendance de deux acteurs

Le produit scalaire normalisé des gradients de satisfaction restreint aux relations que ni  $a$ , ni  $b$  ne contrôlent mesure le degré de *dépendance commune* de  $a$  et  $b$  vis à vis des tiers, dans l'état  $e$ .

$$co - dépendance(a, b, e) = \frac{\langle \nabla_D Satis(a, e) \cdot \nabla_D Satis(b, e) \rangle}{\|\nabla_D Satis(a, e)\| \cdot \|\nabla_D Satis(b, e)\|}$$

Il rend compte de la similarité de la variation des contraintes que subissent  $a$  et  $b$ , sur lesquelles ni l'un ni l'autre ne peut pas agir directement. Une forte dépendance commune indique que les acteurs, au voisinage de l'état  $e$ , subiront les mêmes variations de satisfaction, ou des variations contraires si leur co-dépendance est négative. Dans le cas d'une co-dépendance positive et élevée, les acteurs sont en situation de «solidarité objective» et subiraient les mêmes effets en cas de modification légère de la configuration dans laquelle se trouve l'organisation. Des fonctions d'effets similaires, des enjeux comparables et une solidarité importante entre deux acteurs contribuent à renforcer leur co-dépendance.

De même que deux acteurs en position d'équivalence structurelle pour les arcs entrants sont *structurellement* en situation de *solidarité objective*, une forte co-dépendance positive peut refléter une solidarité objective *située*, i.e. imputable à la configuration actuelle de l'organisation (cf. la section 8 du chapitre sept).

### Synergie

Le produit scalaire normalisé des gradients  $\nabla_C Satis(a, e)$  et  $\nabla_D Satis(b, e)$  rend compte de la similarité de la variation de satisfaction de  $a$  et de  $b$  lors d'un changement du comportement de  $a$ . Faute d'un terme plus approprié, nous appelons cette quantité *synergie*.

$$synergie(a, b, e) = \frac{\langle \nabla_C Satis(a, e) \cdot \nabla_D Satis(b, e) \rangle}{\|\nabla_C Satis(a, e)\| \cdot \|\nabla_D Satis(b, e)\|}$$

Le terme  $\langle \nabla_C Satis(a, e) \cdot \nabla_D Satis(b, e) \rangle$  ne retient que les relations que  $a$  contrôle et dont  $b$  dépend. Une valeur proche de 1 indique que si  $a$  modifie l'état des relations qu'il contrôle de façon à augmenter sa propre satisfaction, il augmentera simultanément celle de  $b$ . Une valeur proche de 0 indique que dans cet état, un changement de comportement de  $a$  aura peu d'effet sur  $b$ . Une valeur proche de -1 indique que les variations de satisfaction des deux acteurs sont de sens contraires.

Considérer inversement le produit scalaire symétrique  $\langle \nabla_C CA(b, e) \cdot \nabla_D CA(a, e) \rangle$  quantifie la synergie *réciproque* qui lie les deux acteurs, ce qui permet notamment d'évaluer l'«équilibre» des synergies, pour répondre à la question : qui de  $a$  ou de  $b$  est le plus dépendant de l'autre dans cette configuration ?



### 7.5.3 Les conflits structurels

Les règles du jeu de l'organisation peuvent faire que, pour deux acteurs qui dépendent pour l'essentiel des mêmes relations, une majorité des configurations qui avantagent un acteur désavantagent l'autre. En termes de paysages, les zones élevées du paysages de capacité de l'un coïncident avec celles qui ne le sont pas pour l'autre acteur.

Ces situations sont particulièrement importantes à identifier car elles contraignent les deux acteurs en conflit structurel, et ce quelques soient leurs caractéristiques individuelles, soit à un compromis nécessairement fragile, soit à une hostilité plus ou moins ouverte.

De même, il se peut que les objectifs d'un acteur diffèrent de ceux des autres acteurs (dont on peut penser qu'ils ont en commun les objectifs de l'organisation dans son ensemble), au point de le placer en situation de conflit avec l'organisation. Dans ce cas, les zones de capacité élevée du paysage de l'acteur ne correspondent pas à celles du paysage de capacité globale. L'acteur, s'il ne dispose pas d'un pouvoir suffisant pour résister, devra vraisemblablement faire des compromis pour se maintenir dans le jeu social.

De tels conflits structurels peuvent être détectés en comparant l'allure des paysages ou par la représentation du paysage de l'écart entre les deux paysages ou de leur produit.

Ces opérations sur les paysages s'effectuent en se restreignant aux relations dont chacun des deux acteurs dépendent.

Si des conflits structurels peuvent être dues à la structure même de l'organisation, ils peuvent aussi provenir d'hostilités (i.e. de solidarités négatives) entre acteurs.

### 7.5.4 Disparité entre la capacité d'action et la satisfaction d'un acteur

Dans une configuration donnée, un acteur  $a$  évalue sa situation en calculant sa satisfaction, mais c'est sa capacité d'action qui détermine s'il dispose effectivement des moyens de ses objectifs, et donc si cette configuration convient effectivement à la réalisation de ses objectifs.

Le paysage de capacité d'un acteur reflète l'efficacité réelle des configurations de l'organisation, tandis que le paysage de satisfaction reflète l'adéquation entre ces configurations et ce à quoi il aspire. En fonction de l'importance des solidarités, ces deux paysages peuvent différer sensiblement <sup>2</sup>.

Pour s'en convaincre, considérons un exemple simple de modèle d'organisation où ces deux paysages diffèrent de façon significative.

Soient deux acteurs  $A$  et  $B$  d'un modèle d'organisation, dépendant chacun de deux relations  $r_1$  et  $r_2$ . Les fonctions d'effets de ce modèle d'organisation sont :

$$A : \begin{cases} effet_{r_1}(A, e_1) = \frac{20}{1+e^{-8e_1}} - 10 \\ effet_{r_2}(A, e_2) = 10e_2 \end{cases}$$

et

$$B : \begin{cases} effet_{r_1}(B, e_1) = 5(e_1 - 1)^2 - 10 \\ effet_{r_2}(B, e_2) = -10e_2 \end{cases}$$

$A$  et  $B$  ont des intérêts divergents pour chacune des deux relations dont les fonctions d'effets ont l'allure suivante :

La matrice d'enjeu est définie de la façon suivante :

Supposons maintenant que l'acteur  $A$  entretienne une solidarité assez importante (0.8) avec  $B$ . Sa satisfaction est alors :

$$Satisfaction(A, e) = CA(A, e) + 0.8CA(B, e)$$

---

2. Dans un modèle d'organisation où les acteurs ne sont solidaires que d'eux-mêmes, capacité d'action et satisfaction coïncident.

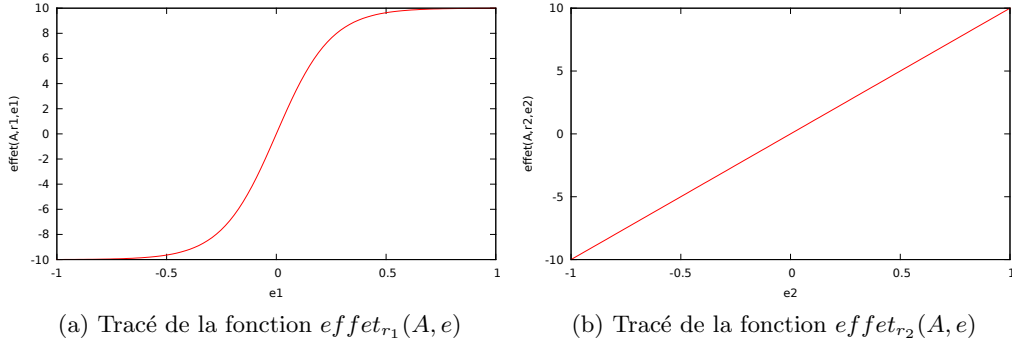


FIGURE 7.4 – Fonctions d’effets des relations sur l’acteur  $A$

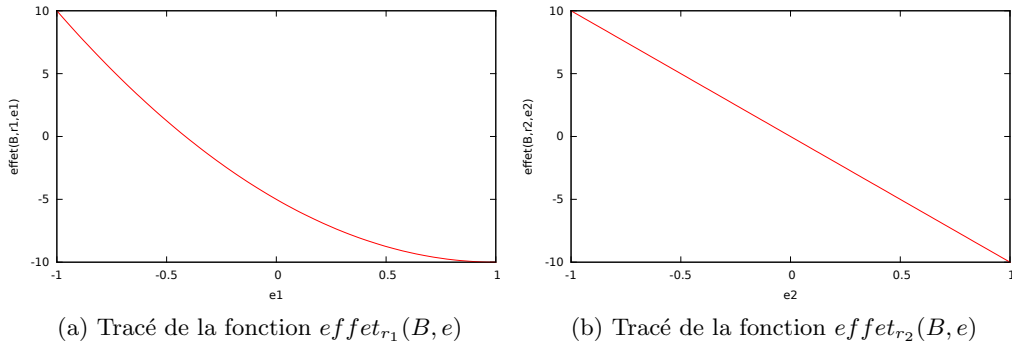


FIGURE 7.5 – Fonctions d’effets des relations sur l’acteur  $B$

	$r_1$	$r_2$
$A$	5	5
$B$	8	2

TABLE 7.1 – Répartition des enjeux des acteurs  $A$  et  $B$  sur  $r_1$  et  $r_2$

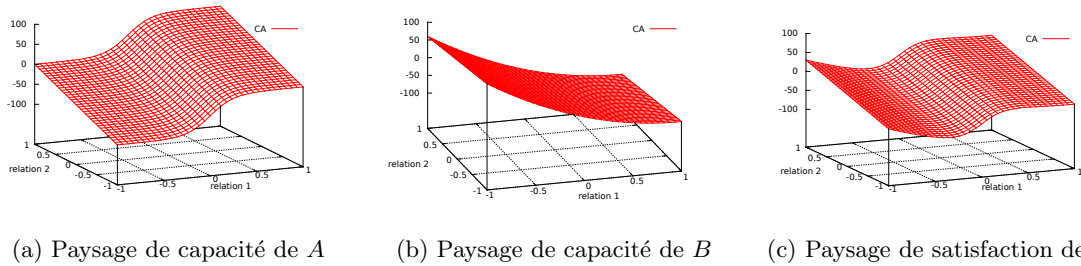


FIGURE 7.6 – Allure des paysages de capacité d’action de  $A$  et  $B$ , et du paysage de satisfaction de  $A$

La figure 7.6, montre l’allure des paysages de capacité de  $A$  et  $B$ , et celui de la satisfaction de  $A$ .

Dans ce modèle d’organisation, l’acteur  $A$  a clairement intérêt à ce que les valeurs des états  $e_1$  et  $e_2$  soit proches de 1, là où sa capacité d’action est maximale et positive. Sa capacité d’action est négative si  $e_1$  et  $e_2$  sont proches de -1. L’acteur  $B$  lui, a tout intérêt à ce que  $e_1$  et  $e_2$  aient des valeurs proches de -1.

Pourtant, dans les configuration où la capacité d’action de  $A$  est négative, sa satisfaction peut être positive, notamment quand  $e_2$  est proche de 1. Cela est dû a la solidarité importante que  $A$  entretient avec  $B$  : la capacité d’action de  $B$  participe à la satisfaction de  $A$  au point que  $A$  soit satisfait dans des configurations où sa capacité d’action est négative.

La figure ?? montre le paysage de capacité de  $A$  juxtaposé à celui de sa satisfaction pour en faciliter

la comparaison. On observe une sorte de «lissage», qui s'explique par la forte solidarité de  $A$  sur  $B$ . La satisfaction de  $A$  est presque une somme de leur capacité d'action respective : les valeurs opposées se compensent et l'allure générale du relief s'adoucit .

On constate sur cet exemple simple que les zones de bonne satisfaction ne correspondent pas toujours aux zones de capacité d'action élevée du paysage. Hors, lors de la simulation de la régulation de leur comportement, les acteurs évaluent leur situation en calculant leur satisfaction. Ils sont alors susceptibles d'ajuster leur comportement dans des situations de satisfaction suffisante, mais où leur capacité d'action est relativement faible. Un moyen d'évaluer ce biais est de considérer le paysage constitué de la différence entre la satisfaction et la capacité d'action d'un acteur.

Il peut en être de même au niveau de l'ensemble de l'organisation, i.e. le paysage de satisfaction globale peut être en décalage avec celui de la capacité d'action globale de l'organisation. On est alors en présence d'une situation où les solidarités entre les acteurs déforment la structure de l'organisation.

## 7.6 Paysages globaux et potentialités de la structure d'une organisation

Cherchant à caractériser la coopérativité d'une organisation, c'est-à-dire sa faculté à favoriser l'établissement et le maintien d'une bonne coopération entre les acteurs, nous nous plaçons dans cette section dans le cadre du paysage de capacité globale, qui évalue la qualité de cette coopération. La taille, le nombre et la dispersion des îlots correspondant à un "bon" niveau de capacité (ou de satisfaction) nous indique comment l'organisation est susceptible de fonctionner. Il est à noter que ces îlots peuvent aussi être repérés, et peut être plus facilement, par la répartition selon les axes d'une ACP des configurations calculées par la simulation.

### 7.6.1 La taille des îlots de bonne capacité et contraintes imposées par l'organisation

La taille d'un îlot de capacité de niveau satisfaisant s'interprète comme le degré de contrainte que la structure impose aux acteurs.

Un îlot de grande taille signifie qu'une vaste gamme de comportements permet aux acteurs de disposer des moyens de leurs objectifs. On pourra qualifier dans ce cas l'organisation de *tolérante* : à l'intérieur de cet îlot, les acteurs peuvent adopter des comportements différents et procéder à des variations de leurs comportements sans pour autant compromettre le niveau de capacité au point de se retrouver dans une situation hors de l'îlot.

A l'inverse, si pour un paysage de capacité donné les îlots de capacité de niveau  $k$  sont (très) petits, cela signifie que l'organisation, par sa structure, contraint les acteurs à adopter un registre de comportements limité pour atteindre ce niveau de capacité.

Considérons maintenant un paysage de capacité d'action globale dans lequel existent plusieurs îlots d'un bon niveau de capacité  $k$  et de tailles différentes. La taille du plus grand de ces îlots est un élément qui favorise et sécurise la coopération dans l'organisation. En effet, plus celui-ci est vaste, plus il sera facile à trouver par la communauté des acteurs et plus il sera facile d'y rester (i.e. les perturbations éventuelles ne modifieront pas la situation globale au point de quitter l'éminence  $E_k$  correspondant à  $I_k$ )<sup>3</sup>.

### Répartition des îlots et variété de fonctionnement d'une organisation

La *dispersion* d'un ensemble d'îlots disjoints de niveau  $k$  peut s'évaluer par la moyenne des distances qui séparent les barycentres de ces îlots.

---

3. Rappelons encore une fois qu'un bon niveau de satisfaction globale ne garantit pas la faisabilité sociale d'une configuration : si elle octroie à l'un des acteurs une satisfaction très médiocre et que celui-ci dispose de suffisamment de pouvoir, il disposera des moyens lui permettant de s'opposer à ce que l'organisation se régle dans cette configuration.

Si l'on s'en tient à la définition des îlots, leur dispersion reflète la distance, l'écart entre des registres de comportements compatibles avec un certain niveau de capacité. Ces registres de comportements étant disjoints, les comportements qui les constituent sont donc différenciés, bien qu'appartenant à la même classe d'équivalence en terme de capacité.

La dispersion des îlots reflète donc la *polyvalence* de la structure de l'organisation : le même niveau de capacité peut être atteint par des registres de comportements différents. Cette polyvalence ne favorise pas pour autant la coopération : pour un niveau  $k$  de capacité satisfaisant, plus les îlots sont dispersés, plus les registres de comportement compatibles avec ce niveau sont différenciés, voire antagonistes, suivant au moins l'une des dimensions du paysage.

Pour les acteurs de l'organisation, cette dispersion se traduit par une difficulté à trouver comment coopérer : si des registres de comportements plus ou moins antagonistes se traduisent par un même niveau de capacité d'action, comment arriveront-ils à s'accorder sur le comportement que chacun doit adopter pour parvenir à l'une des configurations globalement satisfaisantes ? Une telle dispersion peut donc être le signe d'une incohérence structurelle, à l'origine du fait que des comportements incompatibles aboutissent au même niveau de coopération.

A l'inverse, une organisation dont la structure facilite la coopération ne présenterait soit qu'un unique îlot de bonne capacité d'assez grande taille, soit un ensemble d'îlots relativement proches les uns des autres : les comportements qui conduisent à la coopération sont alors relativement similaires, et l'adoption par un acteur d'un comportement radicalement éloigné de ces îlots est voué à l'échec, car non admis par les autres.

Etudier la dispersion des îlots conduit à s'interroger également sur leur nombre. Pour un niveau de capacité  $k$ , l'existence de plusieurs îlots de capacité signifie qu'un même niveau de capacité d'action peut être atteint de différentes façons, c'est-à-dire en adoptant des registres de comportements différents. Nous pouvons rapprocher cette caractéristique de la notion de *variétés* de la théorie des systèmes, au sens du "nombre de comportements *a priori* possibles", "d'un décompte des états stables différents qu'un objet est susceptible d'exhiber" [Le Moigne, 1977].

En particulier, si le niveau  $k$  de capacité permet à tous les acteurs d'être suffisamment satisfaits pour ne plus modifier leurs comportements, l'organisation pourra être considérée comme étant dans un état stable. Ce niveau de capacité d'action globale qui rend l'organisation stable pouvant être atteint de différentes façons, i.e. lorsque ses acteurs adoptent des registres de comportements distincts, le nombre d'îlots est bien représentatif de la variété de l'organisation.

## Vers une caractérisation de la coopérativité d'une organisation

Appellons *coopérativité* d'une organisation une mesure des propriétés de sa structure qui favorisent la coopération des acteurs et donc l'adoption de comportements qui assurent une bonne capacité d'action globale. L'intérêt de disposer d'une telle mesure est, notamment, de pouvoir comparer des structures organisationnelles.

Cette mesure, qui reste à définir, mettrait en jeu les propriétés suivantes de la structure d'une organisation.

- *le gain à coopérer* : dans l'ensemble des situations que la structure autorise, si l'amplitude entre le niveau maximal et le niveau minimal de satisfaction globale est importante, les acteurs ont alors intérêt à coopérer ; la coopération est attractive, puisque qu'elle leur permet d'augmenter leur capacité d'action de façon significative. Au contraire, si cet écart est faible, les acteurs ne sont pas incités à coopérer, et ils peuvent se comporter de façon égoïste sans que cela porte à conséquences. A la limite, dans une organisation à somme nulle dans laquelle ce que l'un gagne est systématiquement perdu par un autre, rien ne permet au processus de régulation de stabiliser les comportements des acteurs.
- *la facilité à coopérer* : Si le paysage comporte un îlot d'un bon niveau de satisfaction relativement de vaste, ou bien plusieurs îlots peu dispersés, les acteurs de l'organisation n'auront pas trop de mal à trouver comment ajuster leurs comportements pour réguler l'organisation à l'intérieur de cet îlot, et la coopération en sera d'autant favorisée.

- *la stabilité des situations de coopération* : si le relief des zones de bonne satisfaction est en pente douce, les normes des gradients de satisfaction des acteurs étant faibles dans les îlots correspondants, la structure assure une certaine robustesse de la coopération vis-à-vis des variations de comportement mineures que les acteurs sont susceptibles d'effectuer.
- *l'absence de conflit structurel* : même si les îlots d'un bon niveau de satisfaction globale vérifient les propriétés ci-dessus, s'ils n'octroient pas un bon niveau de satisfaction à l'un ou plusieurs des acteurs de l'organisation, ces derniers sont susceptibles de faire obstacle à ce que l'organisation se régule de cette façon..

Notons que dans cette caractérisation de la coopérativité de la structure d'une organisation, est indépendante des caractéristiques de la rationalité des acteurs (capacités cognitives mises en jeu, quantité d'information disponible) dans leur recherche d'un comportement coopératif ; seules les propriétés structurelles de l'organisation sont considérées.

Ce n'est pas parce que la structure d'une organisation incite à la coopération que celle-ci va effectivement avoir lieu, encore faut-il que les acteurs aient de bonnes raisons (et soient capables) de choisir les configurations de bonne coopération. Ces configurations de bonne coopération peuvent ne pas être socialement plausibles et être rejetées par un ou plusieurs acteurs dont les situations correspondantes seraient insatisfaisantes.

Néanmoins, deux caractéristiques des résultats de simulation peuvent être rattachées à la coopérativité d'une organisation. Ce ne sont pas tant les valeurs en elles-mêmes qui importent, elle dépendent de l'algorithme de simulation de la régulation, que le fait que pour une structure d'organisation particulière elle soit plus grande ou plus petite que pour d'autres structures. Nous ne sommes pas (encore!) en mesure de fournir un indice de coopérativité des organisations ; nous sommes donc dans le registre de la plus ou moins grande coopérativité d'un modèle par rapport à un autre. Ces deux caractéristiques sont les suivantes :

- *le nombre (moyen) de pas de simulations* nécessaires pour atteindre une configuration stabilisée. Ce nombre sera plus petit pour les organisations dans lesquelles des situations qui satisfont les acteurs sont relativement faciles à atteindre.
- *l'écart type des configurations calculées par simulation*. L'importance de cet écart type est le signe de l'existence soit d'un îlot d'un bon niveau de satisfaction relativement de vaste, soit de plusieurs îlots. Cet écart type est à interpréter de pair avec le nombre de pas nécessaires à la convergence.

Nous avons rassemblés les différents cas d'interprétation dans le tableau 1 de la section 5.1 du chapitre cinq.

Si l'écart type est important et que la convergence est obtenue en un grand nombre de pas, cela signifie que d'une simulation à l'autre, les acteurs peinent à ajuster leur comportements, et que parmi les configurations résultats, aucune ne semble être radicalement préférée, et donc on peut penser meilleure, que les autres. Si à l'inverse l'écart type est petit et que le nombre de pas est petit, cela signifie que la coopération est facile à atteindre et qu'un sous ensemble restreint de configurations est clairement meilleur que les autres aux yeux des acteurs.

Si l'écart type est important, mais que le nombre de pas de simulation avant convergence est petit, ou à l'inverse, si l'écart type est petit mais que le nombre de pas est important, il est plus difficile de trancher.

La connaissance des îlots de satisfaction des paysages de chaque acteur permet de formuler des hypothèses sur la cause de ces résultats. Dans le premier cas, les configurations résultats, bien que dispersées, peuvent appartenir à un ou plusieurs îlots de niveaux relativement attractifs et donc assez élevés, et peut être assez rapprochés pour être trouvés facilement. Dans le second, les configurations stabilisées sont péniblement atteintes par les acteurs, mais dans une gamme de configurations restreinte, ce qui peut s'expliquer par le fait que les îlots de satisfaction de chaque acteur n'ont que très peu de bonnes configurations en commun, et que les atteindre nécessite une longue exploration de l'espace des configurations du jeu.

### 7.6.2 Propositions pour le choix du niveau définissant les îlots satisfaisants

Pour avoir du sens, les îlots de capacité ou de satisfaction doivent être calculés pour un certain niveau  $k$ . Le choix de cette constante  $k$  peut se faire de différentes façons (et dépend de la question à laquelle le modélisateur veut répondre). Nous donnons deux cas d'utilisation : une analyse *a priori* de la structure de l'organisation et une analyse qui s'appuie sur des résultats de simulation du processus de régulation des comportements des acteurs.

Dans le premier cas, l'objectif est de mesurer les différentes gammes de comportements correspondant à un certain niveau de capacité d'action (ou de satisfaction). Ainsi, pour exhiber les îlots correspondant à un (très) bon fonctionnement de l'organisation, proche du fonctionnement optimal, on peut choisir  $k = 0,8.CA_{globale\ max}$ .

A l'inverse, pour exhiber les registres de comportement pour lesquels le fonctionnement de l'organisation est vraiment dégradé, à peine meilleur que dans le pire cas, on choisira  $k = 0,8.CA_{globale\ min}$  si  $CA_{globale\ min}$  est négative ou  $k = 1,2.CA_{globale\ min}$  si  $CA_{globale\ min}$  est positive.

Dans le deuxième cas, considérons que nous disposons de résultats de simulation, c'est-à-dire des niveaux de satisfaction correspondant aux configurations vers lesquelles convergent l'algorithme qui simule le processus de régulation des comportements des acteurs. Les niveaux de satisfaction atteints au terme des simulations constituent une bonne valeur de départ pour la constante  $k_i$ , qui sera dans ce cas propre à chaque acteur de l'organisation. Une fois calculés analytiquement les îlots de niveau  $k_i$  de chaque acteur, leur intersection permet de déterminer les configurations équivalentes du point de vue de la satisfaction, qui sont autant de solutions alternatives que l'algorithme de simulation devrait - théoriquement - trouver de façon équiprobable.

Il est aussi possible d'examiner si le processus de régulation «pourrait mieux faire», c'est-à-dire réguler les comportements des acteurs vers un état qui procure à chacun un meilleur niveau de satisfaction. Pour répondre à cette question, il suffit d'examiner l'intersection des îlots de satisfaction de niveau  $k_i + \epsilon$  : si elle est non-vide, cela signifie que la structure autorise un meilleur niveau de capacité d'action pour chacun, dans d'autres configurations que celles trouvées par l'algorithme de régulation. Il est alors intéressant de s'interroger sur les raisons (structurelles et propres à l'organisation, ou tenant aux propriétés et paramètres de l'algorithme) qui font que l'algorithme ne converge pas vers une configuration plus avantageuse pour tous.

### 7.6.3 Interprétation du jacobien de la fonction de transfert du modèle canonique d'une organisation

Cette section traite d'une propriété de la fonction de transfert d'un modèle canonique d'organisation normalisé (cf. section 4 du chapitre six), dans lequel les relations contrôlées par chaque acteur sont agrégées en une seule relation résultante.

Notons  $\mathcal{F}$  la fonction de transfert d'un modèle canonique d'organisation, dont la jacobienne est notée  $J_{\mathcal{F}}(e)$ .  $\mathcal{F}$  est définie sur l'espace des comportements  $EC^m = [-1, 1]^m$  et à valeurs dans l'espace  $[-100, 100]^m$ , pour une organisation à  $m$  acteurs.

La différence d'échelle entre l'espace de définition et l'espace des valeurs de  $\mathcal{F}$  provient de ce que les fonctions d'effet sont à valeurs dans  $[-10, 10]$ , et que la somme des enjeux posés par chaque acteur est fixée à 10. Ces choix étant arbitraires, rien ne s'oppose à considérer que les impacts résultants d'un comportement sont à valeur dans  $[-1, 1]$  (il suffit de diviser par 10 toutes les valeurs de la matrice d'impacts) ;  $\mathcal{F}$  devient alors un endomorphisme de  $[-1, 1]^m$ , ce qui nous permet de calculer son jacobien. Le jacobien doit être calculé en un point de l'espace d'état  $EC^m$ , car les dérivées partielles qui constituent la jacobienne de  $\mathcal{F}$ , et qui interviennent dans le calcul du jacobien, peuvent être des fonctions.

La valeur absolue du déterminant de  $J_{\mathcal{F}}(e)$  donne le rapport entre le volume d'un petit voisinage autour de  $e$  et le volume de l'image de ce voisinage par la fonction  $\mathcal{F}$  (cf. section 4.3 du chapitre six). L'interprétation de cette caractéristique de  $\mathcal{F}$  reste un sujet ouvert, nous proposons ci-dessous un début d'interprétation intuitive.

Si la valeur absolue de ce déterminant est supérieure à 1, cela signifie que, par sa structure, l'organisation induit une dilatation de l'espace des capacités : elle amplifie le volume des capacités produites à partir d'un certain volume d'états. L'organisation, au voisinage de cet état particulier, amplifie la dispersion des comportements. Cela peut s'interpréter comme le fait que l'organisation est relativement sensible aux variations de comportement des acteurs, puisque des variations mineures de comportements entraînent des variations de capacité d'action (ou de satisfaction) plus importantes. Dans ce voisinage, il n'y a peu de comportements qui permettent aux acteurs de garder un bon niveau de satisfaction, et ils ne doivent pas s'en écarter. On peut donc considérer que l'organisation, dans ce voisinage, est relativement *contraignante*. On s'attendrait à ce que, lorsque la valeur absolue du jacobien est supérieure à 1, la norme du gradient soit relativement importante (voir partie 7.5.1) ; mais le calcul formel permettant de l'établir reste à faire.

Si la valeur absolue est plus petite que 1, le même raisonnement conduit à conclure que, dans ce voisinage, la structure de l'organisation est *peu contraignante*.

## 7.7 Application au cas Plan International

Dans cette section, nous appliquons les outils d'analyse de paysage au cas modélisé dans le chapitre 4. Nous commençons par donner l'expression des gradients obtenus sur les deux modèles du cas, avant d'examiner le voisinage de la configuration régulée. Nous terminons par une étude des îlots de satisfactions des acteurs et de la coopérativité de l'organisation.

### 7.7.1 Notations

Nous noterons les relations et leurs états de la façon suivante :

Désignation	Relation	État
Ressources financières	$rf$	$e_{rf}$
Croissance et contrôle	$cc$	$e_{cc}$
Application niveau international	$ai$	$e_{ai}$
Application niveau régional	$ar$	$e_{ar}$
Application niveau Cali	$aCal$	$e_{aCal}$
Application niveau local	$aloc$	$e_{aloc}$
Lettres	$ltr$	$e_{ltr}$

TABLE 7.2 – Notations des relations et de leurs états

Notons que dans cette version des calculs, les états ne varient plus dans l'intervalle  $[-1; 1]$ , mais dans  $[-10; 10]$ , de la même façon que dans les chapitres quatre et cinq.

### 7.7.2 Modèle 1

#### Gradients de Satisfaction

##### Gradient de satisfaction du Board de Donneurs

Le gradient de satisfaction de l'acteur BD est donné ci-dessous, calculé pour les valeurs d'enjeux et de solidarités définies dans les tableaux 2,3 et 9 du chapitre quatre.

$$\nabla Satis(BD, e) = \begin{pmatrix} 1.5 \\ 2.21 - 0.18e_{cc} \\ 0.33 - 0.005e_{ai} \\ 0.065 \\ 1.375 \\ 1.035 \\ 2.0 \end{pmatrix}$$

La présence de termes constants dans l'expression du gradient de BD nous indique qu'il n'existe pas de points critiques dans son paysage de satisfaction. Les termes non constants de ce gradient ne

s'annule pas sur l'espace de choix des relations ( les racines sont respectivement 30.9 et 35), le gradient est donc monotone sur l'espace de choix des relations de l'organisation.

### Gradient de satisfaction du Directeur Général

$$\nabla Satis(DG, e) = \begin{pmatrix} 1.75 \\ 3.12-0.56e_{cc} \\ 0.96-0.01e_{ai} \\ -0.36 \\ 2.35 \\ 1.69 \\ 0.7 \end{pmatrix}$$

Le paysage de satisfaction de DG ne comporte pas de points critiques. Le gradient est également monotone (les racines sont respectivement 12 et 33.3)

### Gradient de Satisfaction du comité de direction

$$\nabla Satis(HQ, e) = \begin{pmatrix} 1.375 \\ 1.735-0.29e_{cc} \\ 0.7 \\ 0.72 \\ 1.55 \\ 1.385 \\ 0.25 \end{pmatrix}$$

Le paysage de satisfaction de HQ ne comporte pas de points critiques. La composante du gradient correspondant à la relation  $cc$  s'annule en  $e_{cc} \approx 0.66$ , est positive à gauche et négative à droite de cette racine : le paysage est croissant puis décroissant selon la relation "Croissance et contrôle".

### Gradient de Satisfaction des bureaux régionaux

$$\nabla Satis(BR, e) = \begin{pmatrix} 0.1 \\ -0.24-0.23e_{cc} \\ -0.10-0.07e_{ai} \\ -2.565 \\ -0.575 \\ -1.1 \\ 0.3 \end{pmatrix}$$

Le paysage de satisfaction de BR ne comporte pas de points critiques. La seconde et la troisième composante s'annulent pour les racines  $e_{cc} \approx 0.38$  et  $e_{ai} \approx 0.33$ . Elles sont positives à gauche et négatives à droite de ces racines : le paysage est croissant puis décroissant selon les relations "Croissance et contrôle" et "Application niveau international".

### Gradient de Satisfaction du directeur de Cali

$$\nabla Satis(DL1, e) = \begin{pmatrix} 0.8 \\ 2.24-0.32e_{cc} \\ 0.75 \\ 0.06 \\ 2.78-0.02e_{aCal} \\ 0.80-0.02e_{al} \\ 1.02 \end{pmatrix}$$

Le paysage de satisfaction de DL1 ne comporte pas de points critiques. Le gradient de satisfaction de DL1 est monotone (les racines sont respectivement 36, 139 et 40) sur l'espace de choix de chacune des relations.

### Gradient de Satisfaction des directeurs locaux

$$\nabla Satis(DL2, e) = \begin{pmatrix} 0.5 \\ -0.27-0.13e_{cc} \\ -0.18-0.09e_{ai} \\ -1.57 \\ -0.46-0.02e_{aCal} \\ -2.91-0.02e_{al} \\ 1.22 \end{pmatrix}$$



Le paysage de satisfaction de DL2 ne comporte pas de points critiques. La seconde et troisième composantes s'annulent en  $s = 0$ , elle sont positives à gauche et négatives à droite de cette racine : le paysage est croissant puis décroissant selon les relations "Croissance et contrôle" et "Application au niveau international". La cinquième et sixième composante ne s'annulent pas sur l'espace de choix des relations, le paysage est donc monotone (et décroissant) selon les relations "Application niveau Cali" et "Application niveau local".

### Gradient de Satisfaction de la communauté de bénéficiaires

$$\nabla Satis(COM, e) = \begin{pmatrix} 4.475 \\ 0.85 - 0.08e_{cc} \\ 0.11 - 0.01e_{ai} \\ -0.25 \\ 1.32 - 0.16e_{aCali} \\ 0.64 - 0.16e_{al} \\ -0.29 \end{pmatrix}$$

Le paysage de Satisfaction de COM ne comporte pas de points critiques. Les racines des composantes non constantes sont  $e_{cc} \approx 8.27$ ,  $e_{ai} = 5$ ,  $e_{aCali} = 8.25$  et  $e_{al} = 4$ , et sont positives à gauche et négatives à droites de celles-ci : le paysage de satisfaction est croissant puis décroissant selon les relations concernées.

### Gradient de Satisfaction globale

$$\nabla Satis_{globale}(s) = \begin{pmatrix} 10.5 \\ -1.79 \\ 0.58 \\ -3.9 \\ 6.26 \\ 2.56 \\ 5.2 \end{pmatrix}$$

Le paysage de satisfaction globale ne comporte pas non plus de points critiques. La composante qui correspond à la relation "Application niveau Cali" ne s'annule pas sur l'espace de choix de la relation. La seconde, la troisième et la sixième composante s'annulent pour les racines  $e_{cc} \approx 6.33$ ,  $e_{ai} \approx 7.3$  et  $e_{al} = 7.65$ , et sont positives à gauches et négatives à droite. Le paysage de satisfaction globale est croissant puis décroissant selon les relations "Croissance et contrôle", "Application niveau international" et "Application niveau local".

### Stabilité au voisinage de la configuration régulée

Les expressions des gradients étant données, nous allons calculer la valeur qu'ils prennent dans la configuration régulée, pour chiffrer la stabilité de la situation des acteurs. On note  $e^*$  la situation régulée.

$$e^* = \begin{pmatrix} 9.9 \\ 6.3 \\ 9.5 \\ -4.9 \\ 9.9 \\ -4.9 \\ -9.4 \end{pmatrix}$$

Commençons par lister les valeurs des gradients et de leur norme, calculée dans la configuration  $e^*$ .

	<b>BD</b>	<b>DG</b>	<b>HQ</b>	<b>BR</b>	<b>DL1</b>	<b>DL2</b>	<b>COM</b>
$\nabla Satis(e^*)$	$\begin{pmatrix} \mathbf{1.5} \\ 1.46 \\ 0.24 \\ 0.06 \\ 1.37 \\ 1.03 \\ 2.0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1.75 \\ \mathbf{0.54} \\ 0.7 \\ -0.36 \\ 2.35 \\ 1.69 \\ 0.7 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1.37 \\ -0.88 \\ \mathbf{0.7} \\ 0.72 \\ 1.55 \\ 1.38 \\ 0.25 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0.1 \\ -3.76 \\ -1.46 \\ \mathbf{-2.56} \\ -0.57 \\ -1.1 \\ 0.3 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0.8 \\ -0.39 \\ 0.75 \\ 0.06 \\ \mathbf{2.57} \\ 0.90 \\ 1.02 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0.5 \\ -2.67 \\ -1.87 \\ -1.57 \\ -0.67 \\ \mathbf{-2.81} \\ 1.22 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 4.475 \\ -0.20 \\ -0.16 \\ -0.25 \\ -0.35 \\ 1.48 \\ \mathbf{-0.29} \end{pmatrix}$
$\ \nabla Satis(e^*)\ $	3.37	3.58	2.83	4.95	3.13	4.81	4.74

TABLE 7.3 – Gradients de satisfactions et leurs normes, calculés dans la configuration régulée du modèle 1. La composante correspondant à la relation contrôlée par chaque acteur est mise en gras

Globalement, les composantes correspondant aux relations que les acteurs contrôlent vont dans le sens du maintien de l'équilibre de Nash. Rappelons les valeurs des états de la configuration de Nash et de la configurations régulée, listées dans le tableau 7.4 :

TABLE 7.4 – Configuration régulée et équilibre de Nash du modèle 1

	Configuration régulée	Configuration d'équilibre de Nash
Ressources financières	9.9	10
Croissance et contrôle	6.3	6
Application niveau international	9.51	10
Application niveau régional	-4.9	-5
Application niveau Cali	9.9	10
Application niveau local	-4.9	-5
Lettres	-9.4	-10

Ainsi, les composantes positives de gradients de satisfaction de BD, HQ, et DL1 selon les relations qu'ils contrôlent indiquent qu'ils auraient intérêt à augmenter la valeur des états  $e_{rf}$ ,  $e_{ai}$  et  $e_{aCal}$  pour augmenter leur satisfaction, .

De même, les composantes négatives des gradients de BR, DL2 et COM selon les relations qu'ils contrôlent indiquent qu'ils auraient intérêt à diminuer la valeurs des états  $e_{ar}$ ,  $e_{al}$  et  $e_l$  pour augmenter leur satisfaction.

Les pentes des paysages de ces acteurs au voisinage de la configuration régulée tendent donc à rapprocher la configuration régulée de la configuration correspondant à l'équilibre de Nash, même si les normes faibles des gradients indiquent que cette tendance n'est pas très marquée. Le seul acteur dont le gradient indique que des situations intéressantes pour lui se situent hors de l'équilibre de Nash est DG.

On peut donc en déduire que la configuration correspondant à l'équilibre de Nash du jeu social du modèle 1 est un *attracteur* de ce jeu : la majorité des acteurs ont des intérêts qui les poussent à ne pas s'en écarter.

A la lecture des normes des gradients, cette configuration semble assez stable pour les acteurs , aucun acteur n'est dans une situation radicalement plus instable que les autres.

### Synergies et Co-dépendances

Les tables 7.5 et 7.6 donnent les valeurs de synergies et de co-dépendance calculées en  $e^*$ . La table 7.5 se lit de la façon suivante : le terme d'une case est le resultat du produit scalaire normalisé entre les gradients de satisfaction  $\nabla_C Satis(a, e)$  de l'acteur en ligne, et le gradient  $\nabla_D Satis(b, e)$  de l'acteur en colonne (voir section 7.5.2).

La valeur normalisée des synergies caractérise une dyade d'acteurs, en indiquant si l'action d'un acteur qui cherche à augmenter sa satisfaction peut profiter (valeurs positives et proches de 1) ou nuire (valeurs négatives et proches de -1) à l'autre acteur de la dyade. Comme chaque acteur a ses propres intérêts, la matrice de synergie de l'organisation n'est pas symétrique. Une colonne de cette matrice nous indique le *signe et l'intensité de la contribution des autres* à la variation de satisfaction d'un acteur au voisinage de la configuration  $e^*$ .

En examinant les valeurs que prennent ces synergies, on retrouve l'opposition entre le groupe formé de BR et DL2, évoquée au chapitre 4, section 2.2 et le reste de l'organisation, notamment l'autre groupe, formé de DG, HQ et DL1. Les seules synergies qui ne soient pas négatives dans la colonne de BR et DL2 sont celles d'eux-mêmes. On constate inversement que dans les synergies des acteurs

	<b>BD</b>	<b>DG</b>	<b>HQ</b>	<b>BR</b>	<b>DL1</b>	<b>DL2</b>	<b>COM</b>
<b>BD</b>	×	0.50	0.48	0	0	0	0.94
<b>DG</b>	0.43	×	-0.31	-0.76	-0.12	-0.55	0
<b>HQ</b>	0	0.20	×	-0.29	0.24	-0.39	0
<b>BR</b>	0	0	-0.25	×	0	0.32	0
<b>DL1</b>	0.40	0.67	0.54	-0.11	×	-0.14	-0.07
<b>DL2</b>	-0.30	-0.48	-0.48	0.22	-0.29	×	-0.31
<b>COM</b>	-0.59	0	0	0	-0.33	-0.25	×

TABLE 7.5 – Synergies normalisées calculées dans la configuration régulée du modèle 1.

du groupe adverse (DG,HQ,DL1), les synergies négatives ne proviennent que du groupe (BR,DL2). On peut également noter que la communauté de bénéficiaires est en conflit d'intérêt systématique avec les autres, et n'a aucun intérêt dans la configuration  $e^*$  où elle n'envoie aucune lettre, à changer son comportement pour envoyer plus de signes de remerciement, puisqu'elle reçoit l'aide de Plan International sans contrepartie. La valeur négative de synergie entre DL1 et DG, et entre HQ et DG est paradoxale.

Nous savons que la configuration  $e^*$  correspond à l'équilibre de Nash, où chacun joue sans tenir compte des autres. La matrice des synergies confirme en quelque sorte cet équilibre de Nash : elle montre que la dynamique du jeu social au voisinage de  $e^*$  ne fera que le maintenir.

On peut supposer que des acteurs dont les intérêts convergent (synergies positives et réciproques) ont tendance à agir ensemble de façon coopérative, dans le sens de la synergie. Hors ici, le sens des synergies positives ne fait que renforcer le comportement des acteurs vers l'équilibre de Nash. Prenons l'exemple du directeur général. Les synergies positives sont celles de BD, HQ et DL1 et elles sont réciproques. Elles compensent la synergie négative de DL2 : tout pousse DG à continuer de se comporter de la façon dont il le fait, et même à suivre la synergie et augmenter la valeur de  $e_{cc}$ . L'état de la relation que contrôle DG dans la configuration régulée est à sa borne maximale, et les synergies montrent qu'il n'a pas intérêt à changer de comportement. On pourrait faire de même avec les autres acteurs, et on constaterait que la dynamique du jeu social au voisinage de  $e^*$  tend à maintenir l'équilibre.

Les gradients de satisfaction des acteurs sont de normes assez faibles en  $e^*$ , ce qui indique que la situation est stable, les synergies montrent que les intérêts des acteurs contribuent à maintenir l'équilibre de Nash : on peut dire que  $e^*$  est un attracteur du jeu social.

Examinons maintenant les co-dépendances des acteurs en  $e^*$ , donnée dans la table 7.6

La co-dépendance de deux acteurs rend compte de la similarité d'intérêts d'une dyade d'acteurs sur les relations que ni l'un ni l'autre ne contrôle (voir section 7.5.2) . Plus celle-ci est élevée, plus les acteurs sont soumis à des variations de satisfaction identiques, si la configuration régulée de l'organisation venait à être légèrement perturbée.

	<b>BD</b>	<b>DG</b>	<b>HQ</b>	<b>BR</b>	<b>DL1</b>	<b>DL2</b>	<b>COM</b>
<b>BD</b>	×	0.47	0.27	-0.58	0.49	-0.20	0.07
<b>DG</b>	0.47	×	0.88	-0.29	0.37	-0.21	0.58
<b>HQ</b>	0.27	0.88	×	0.07	0.36	0.01	0.59
<b>BR</b>	-0.58	-0.29	0.07	×	-0.09	0.80	-0.07
<b>DL1</b>	0.49	0.37	0.36	-0.09	×	0.14	0.17
<b>DL2</b>	-0.20	-0.21	0.01	0.80	0.14	×	0.01
<b>COM</b>	0.07	0.58	0.59	-0.07	0.17	0.01	×

TABLE 7.6 – Co-dépendances normalisées calculées dans la configuration régulée du modèle 1.

Au voisinage de  $e^*$ , les codépendances les plus élevées sont celles des dyades (DG,HQ) et (BR,DL2).

BR et DL2 sont tous les deux opposés à la politique d'expansion initiée par le DG et relayée par HQ, ils subiraient donc des variations similaires si DG et HQ modifiaient leur comportement. Réciproquement, DG et HQ sont sensibles à l'application de leur politique par les instances régionales et locales dont ils dépendent, et subiraient les mêmes variations de satisfaction si DL2 et BR venaient à modifier leur comportement. Des solidarités existent déjà entre ces acteurs fortement codépendants, elles pourraient être temporairement renforcées dans cette configuration. On constate également que BR et BD ont une codépendance négative (DL2 et BD aussi, dans une moindre mesure), ce qui indique que toute variation de la configuration régulée entraînerait une variation contraire de leur satisfaction : ce qui avantagerait l'un désavantagerait l'autre. Dans le jeu social, ces deux acteurs ne sont pas directement liés, aucun ne pose d'enjeu sur la relation de l'autre (voir la table 2 du chapitre quatre). Les conflits qui les opposent sont purement indirects dans ce cas.

Cette divergence peut sembler importante, alors que les acteurs BR et BD sont assez peu liés dans le jeu social.

### 7.7.3 Modèle 2

#### Gradients de satisfaction des acteurs

Nous listons ci-dessous les expressions littérales des gradients de satisfaction des acteurs de Plan International dans le modèle 2.

#### Gradient de Satisfaction du board de donneurs

$$\nabla Satis(BD, e) = \begin{pmatrix} 1.4 \\ 2.23 - 0.18e_{cc} \\ 0.3 \\ 0.255 \\ 0.925 \\ 0.735 \\ 2.0 \end{pmatrix}$$

Il n'existe pas de points critiques dans le paysage de satisfaction de BD. Le terme non-constant du gradient ne s'annule pas sur l'espace de choix des relations.

#### Gradient de Satisfaction du directeur général

$$\nabla Satis(DG, e) = \begin{pmatrix} 1.45 \\ 3.12 - 0.56e_{cc} \\ 0.76 - 0.015e_{ai} \\ 0.24 \\ 1.15 \\ 0.89 \\ 0.7 \end{pmatrix}$$

Le paysage de satisfactions de DG ne comporte pas de points critiques. La seconde composante s'annule en  $e_{cc} \approx 5.57$ , est positive à gauche et négative à droite de cette racine. La troisième composante ne s'annule pas sur l'espace de comportement de la relation "Application niveau international".

#### Gradient de Satisfaction du comité de direction

$$\nabla Satis(HQ, e) = \begin{pmatrix} 1.35 \\ 1.735 - 0.29e_{cc} \\ 0.65 \\ 2.52 \\ 0.575 \\ 0.735 \\ 0.25 \end{pmatrix}$$

Le paysage de satisfaction de HQ ne comporte pas de points critiques. La composante non constante ne s'annule pas sur l'espace de comportement de la relation "Croissance et Contrôle".

## Gradient de Satisfaction des bureaux régionaux

$$\nabla Satis(BR, e) = \begin{pmatrix} 0.075 \\ -0.21-0.21e_{cc} \\ -0.07-0.06e_{ai} \\ -2.89 \\ -0.65 \\ -1.15 \\ 0.3 \end{pmatrix}$$

Le paysage de satisfaction de BR ne comporte pas de points critiques. La deuxième et troisième composante s'annulent respectivement en  $e_{cc} = -1$  et  $e_{ai} \approx -1.16$  et sont positives à gauche et négatives à droite de ces racines.

## Gradient de Satisfaction du directeur de Cali

$$\nabla Satis(DL1, e) = \begin{pmatrix} 0.75 \\ 2.24-0.32e_{cc} \\ 0.15 \\ 0.21 \\ 2.55-0.02e_{aCal} \\ 0.65-0.02e_{al} \\ 1.02 \end{pmatrix}$$

Le paysage de satisfaction de DL1 ne comporte pas de points critiques. La première composante non-constante s'annule en  $e_{cc} = 7$  et est négative à droite et positive à gauche de cette racine. Les autres composantes non-constantes ne s'annulent pas sur l'espace de comportement des relations.

## Gradient de Satisfaction des directeurs locaux

$$\nabla Satis(DL2, e) = \begin{pmatrix} 0.5 \\ -0.12-0.06e_{cc} \\ -0.04-0.02e_{ai} \\ -3.11 \\ -0.46-0.02e_{aCal} \\ -2.91-0.02e_{al} \\ 1.22 \end{pmatrix}$$

Le paysage de satisfaction de DL2 ne comporte pas de points critiques. Les deux premières composantes du gradient s'annulent en  $e_{cc} = -2$  et  $e_{ai} = -2$ . Les autres composantes ne s'annulent pas sur l'espace de comportements des relations.

## Gradient de Satisfaction de la communauté de bénéficiaires

$$\nabla Satis(COM, e) = \begin{pmatrix} 4.475 \\ 0.87-0.07e_{cc} \\ 0.03-0.005e_{ai} \\ -0.32 \\ 1.24-0.16e_{aCal} \\ 0.59-0.16e_{al} \\ -0.29 \end{pmatrix}$$

Le paysage de satisfaction de COM ne comporte pas de points critiques. La première composante non-constante du gradient ne s'annule pas sur l'espace de comportements de la relation "Croissance et contrôle". Les autres composantes non-constantes s'annulent respectivement pour  $e_{ai} = 6$ ,  $e_{aCal} \approx 7.75$  et  $e_{al} \approx 3.68$  et sont positives à gauche et négatives à droite de leurs racines.

## Stabilité au voisinage de la configuration régulée

La valeur des composantes des gradients des acteurs calculées dans la configuration régulée, ainsi que leur normes, sont présentées dans le tableau ??.

Si on examine les valeurs des composantes des gradients des acteurs selon les relations qu'ils contrôlent, on constate comme pour le modèle 1, qu'à l'exception de DG, les intérêts de chaque acteur les poussent à maintenir le jeu dans une configuration proche de l'équilibre de Nash. Enfin, la situation correspondant à la configuration régulée est légèrement plus stable que pour le modèle 1 : les normes des gradients de satisfactions des acteurs sont plus faibles.

	<b>BD</b>	<b>DG</b>	<b>HQ</b>	<b>BR</b>	<b>DL1</b>	<b>DL2</b>	<b>COM</b>
$\nabla Satis(e^*)$	$\begin{pmatrix} \mathbf{1.4} \\ 1.1 \\ 0.3 \\ 0.25 \\ 0.92 \\ 0.74 \\ 2.0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1.45 \\ \mathbf{-0.37} \\ 0.61 \\ 0.24 \\ 1.15 \\ 0.93 \\ 0.7 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1.35 \\ -0.05 \\ \mathbf{0.65} \\ 2.52 \\ 0.57 \\ 0.68 \\ 0.25 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0.07 \\ -1.56 \\ -0.67 \\ \mathbf{-2.89} \\ -0.65 \\ -1.14 \\ 0.3 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0.75 \\ 0.26 \\ 0.15 \\ 0.21 \\ \mathbf{2.35} \\ 0.82 \\ 1.02 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0.5 \\ -0.51 \\ -0.24 \\ -3.11 \\ -0.67 \\ \mathbf{-2.75} \\ 1.22 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 4.47 \\ 0.41 \\ -0.01 \\ -0.32 \\ -0.42 \\ 1.9 \\ \mathbf{-0.29} \end{pmatrix}$
$\ \nabla Satis(e^*)\ $	2.96	2.31	3.07	3.62	2.81	4.44	4.91

TABLE 7.7 – Gradients de satisfactions et leurs normes, calculés dans la configuration régulée du modèle 2. La composante correspondant à la relation contrôlée par chaque acteur est mise en gras

## Co-dépendances et synergies

Le tableau 7.8 présente les valeurs de synergies, calculées dans la configuration régulée du modèle 2. Rappelons qu’une colonne de ce tableau donne le signe et l’intensité de la contribution des autres à la variation de la satisfaction d’un au voisinage d’une configuration (ici, la configuration régulée).

	<b>BD</b>	<b>DG</b>	<b>HQ</b>	<b>BR</b>	<b>DL1</b>	<b>DL2</b>	<b>COM</b>
<b>BD</b>	×	0.66	0.44	0	0	0	0.91
<b>DG</b>	-0.38	×	0.18	0.43	-0.09	0.11	0
<b>HQ</b>	0	0.28	×	-0.18	0.05	-0.05	0
<b>BR</b>	0	0	-0.82	×	0	0.7	0
<b>DL1</b>	0.31	0.52	0.18	-0.18	×	-0.15	-0.08
<b>DL2</b>	-0.25	-0.42	-0.22	0.31	-0.30	×	-0.38
<b>COM</b>	-0.68	0	0	0	-0.37	-0.27	×

TABLE 7.8 – Synergies normalisées calculées dans la configuration régulée du modèle 2.

Il se produit le même phénomène que dans le modèle : les acteurs de chaque groupe contribuent négativement à la variation de satisfaction des acteurs du groupe adverse. Si on examine la colonne correspondant à l’acteur HQ, on constate qu’au voisinage de la configuration régulée, ses intérêts divergent fortement de ceux de BR (-0.82) et de DL2 dans une moindre mesure (-0.22). De même, BR contribue négativement aux variations des satisfactions des acteurs HQ (-0.18) et DL1 (-0.18). De façon assez surprenante, il existe une synergie positive de DG sur BR (0.43). Cette synergie s’explique par le fait que le gradient de DG est négatif (-0.37) selon la relation qu’il contrôle (cf tableau 7.7) : DG a intérêt à diminuer l’état  $e_{cc}$  pour augmenter sa satisfaction. La diminution de la valeur de cet état sert les intérêts de BR (la composante de son gradient est également négative selon la relation que DG contrôle), puisque que cela revient pour le directeur à assouplir la politique de croissance rapide qu’il met en place, d’où la synergie positive.

Nous donnons dans le tableau 7.9 les valeurs des co-dépendances, calculées dans la configuration régulée du modèle 2. Rappelons que la co-dépendance rend compte de la similarité de la variation des satisfaction des acteurs selon les relations que ni l’un ni l’autre ne contrôle, au voisinage d’une configuration.

Les valeurs de co-dépendances nous permettent de mettre en évidence des conflits ou des convergences d’intérêts indirects. C’est le cas pour les dyades (BD,BR), (DG,COM), et (HQ,COM). Dans l’organisation, ces acteurs ne sont pas directement liés : aucun ne pose d’enjeu sur la relations que l’autre contrôle. Pour ces trois dyades, les convergences d’intérêts sont purement indirectes.

### 7.7.4 Calculs d’îlots dans les paysages de satisfaction des acteurs de Plan International

Nous allons maintenant calculer des îlots d’un certain niveau dans les paysages de Plan International pour le modèle 1. Nous cherchons à obtenir deux résultats.

Le premier concerne le niveau de capacité d’action globale maximale : on cherche à estimer la taille

	BD	DG	HQ	BR	DL1	DL2	COM
BD	×	0.31	0.12	0.57	0.84	0.13	0.08
DG	0.31	×	0.5	-0.47	0.29	-0.12	0.73
HQ	0.12	0.5	×	-0.16	0.13	-0.79	0.48
BR	0.57	-0.47	-0.16	×	-0.5	0.18	-0.18
DL1	0.84	0.29	0.13	-0.5	×	0.23	0.23
DL2	0.13	-0.12	-0.79	0.18	0.23	×	0.01
COM	0.08	0.73	0.48	-0.18	0.23	0.01	×

TABLE 7.9 – Co-dépendances normalisées calculées dans la configuration régulée du modèle 2.

des îlots qui assurent à l'organisation une bonne proportion de sa capacité d'action globale maximale ; autrement dit les îlots de configurations dans lesquelles l'organisation fonctionne bien.

Le second résultat que nous voulons obtenir est le niveau de satisfaction des acteurs dans une configuration *solidaire* (cf. TODO ref) : on cherche à déterminer les niveaux de satisfaction des acteurs obtenus lorsqu'on maximise la satisfaction de l'acteur le moins satisfait. On ne cherche donc pas à mesurer la taille des îlots correspondants à ces niveaux dans les paysages de satisfactions des acteurs, mais

### Démarche adoptée

Nous discrétisons l'espace des configurations du modèle de la structure de Plan International. L'espace des comportement de chaque relation est discrétisée en 21 valeurs<sup>4</sup>, de -10 à 10 avec un pas de 1. Sur l'espace des configurations ainsi discrétisé, nous effectuons un crible, dont les critères sont les niveaux de satisfactions qu'obtiennent les acteurs, et nous comptons le nombre d'états pour lesquels un certain niveau est atteint. Le code qui effectue ce crible est disponible en annexe 3. Cette exploration de l'espace des configurations nous servira pour estimer la taille des îlots pour lesquels l'organisation fonctionne bien.

Pour déterminer les niveaux de satisfaction des configurations égalitaires, nous avons procédé de façon heuristique en combinant l'exploration interactive de l'espace d'état que *SocLab* permet de réaliser, et le calcul de la taille des îlots.

Commençons par donner une définition formelle de ce que nous recherchons. Les niveaux de satisfaction égalitaires» sont ceux qui maximisent la satisfaction de l'acteur le moins satisfait. On cherche donc les satisfactions des acteurs, telles que celle de l'acteur le moins satisfait soit :

$$\max_{e \in EC^m} (\min_{a \in \mathbb{A}} \text{Satis}(a, e))$$

Une autre façon de définir ces niveaux est de considérer que ce sont les plus hauts niveaux de satisfaction pour lesquels l'intersection des îlots de satisfaction de niveau correspondant, dans les paysages des acteurs, soit non vide.

La détermination de ces niveaux se déroule alors en deux phases.

Lors de la première phase, nous explorons par tâtonnements l'espace des configurations du modèle de Plan International. Le module d'exploration interactive de SocLab permet au modélisateur d'agir sur la valeur des états des relations à l'aide de curseurs, et affiche sous la forme d'histogrammes colorés les satisfactions des acteurs. A chaque modification de la valeurs d'un état, les histogrammes de satisfactions sont mis à jour, ce qui permet d'expérimenter l'effet des variations des états sur les niveaux de satisfaction. Il est alors assez facile de déterminer visuellement, à partir d'un état quelconque de l'organisation, quel est l'acteur qui semble systématiquement moins satisfait que les autres (dans notre cas il s'agit du couple (HQ,DL1)).

4. Du fait des bornes  $b_{min} = -5$  des relations contrôlées par BR et DL2, leurs espaces de comportements ne comportent que 16 valeurs.

En jouant sur les curseurs des états des relations, on parvient assez rapidement à déterminer le niveau de satisfaction que l'acteur le moins satisfait semble ne jamais dépasser. On relève alors les valeurs des satisfactions de tous les acteurs, qui constituent le premier jeu de satisfactions pour lequel nous allons calculer la taille des îlots.

Dans un deuxième temps, nous calculons le nombre d'états compatibles avec ces niveaux. Puis, de façon itérative, nous augmentons les valeurs des niveaux de chaque acteur, tant qu'il existe des états compatibles. Il faut se représenter ce processus itératif comme la résolution «manuelle» d'un problème de satisfaction de contraintes par backtracking. Au fur et à mesure, le nombre de ces états décroît, jusqu'à se réduire à un seul état. Les satisfactions obtenues dans cet état sont alors les valeurs maximales de satisfactions de chaque acteur que l'organisation autorise.

Cette procédure est inévitablement moins rigoureuse qu'une résolution entièrement automatisée, et la détermination «visuelle» et interactive de l'acteur systématiquement moins satisfait sous SocLab peut être entachée d'erreurs. D'autre part, il serait nettement plus complexe de réaliser la même étude si des fonctions de contraintes entre relations étaient définies dans le modèle de la structure de Plan International. Elle possède au moins l'avantage d'être assez rapide à mettre en place, notamment parce qu'elle est peu coûteuse en termes de développement logiciel.

## Résultats

Le tableau 7.10 donne la taille des îlots du paysage de satisfaction globale pour plusieurs niveaux.

Proportion de la satisfaction globale maximale	taille de l'îlot correspondant
100%	16
95%	10 076
90%	120 804
85%	622 832
80%	2 095 274
75%	5 384 152

TABLE 7.10 – Tailles d'îlots dans le paysage de satisfaction globale du modèle 1 de Plan International, pour différentes proportions de la satisfaction globale maximale. La taille de l'espace de configuration est d'un peu plus d'un milliard.

Puisque nous avons discrétisé l'espace des comportements des relations du modèle avec un pas de 1, nous effectuons son crible avec les valeurs de satisfaction arrondies à l'entier le plus proche, ce qui explique que pour la valeur de satisfaction globale maximale, il existe plusieurs états compatibles.

On constate qu'à partir de 80% de la satisfaction globale maximale, la taille de l'îlot croît très rapidement.

Le tableau ?? donne les valeurs de satisfaction obtenues lorsque nous avons entrepris de déterminer les niveaux de satisfactions correspondant à la configuration solidaire.

## 7.8 Analyse structurelle des réseaux de pouvoirs

De la structure d'une organisation, on peut tirer un certain nombre de réseaux, constitués soit d'acteurs et de relations, soit uniquement d'acteurs. Les nœuds et les arrêtes de ces réseaux peuvent être étiquetés avec les indicateurs structurels ou situés du modèle et éclairer l'analyse de la structure d'une organisation. D'autre part, le domaine de l'analyse des réseaux sociaux (Social Network Analysis) dispose d'outils spécifiques qui visent à caractériser la structure du réseau et l'avantage que procure une certaine position dans ce réseau. Suivant la nature des relations qui lient les acteurs d'un réseau, l'analyse de sa structure permet d'inférer des relations de pouvoir entre acteurs, à partir de leur position dans ce réseau [Lazega, 1998]. Nous proposons dans cette partie d'appliquer directement les outils de l'analyse des réseaux aux réseaux de pouvoir extraits d'un modèle d'organisation, en nous concentrant plus particulièrement sur la centralité des acteurs [Chapron et al., 2011].



### 7.8.1 Pouvoir et Centralités dans un réseau social

Lorsque l'analyse de réseaux sociaux cherche à caractériser le pouvoir des acteurs qui le constitue, les relations sont restreintes à certains types qui s'apparentent à une circulation de ressources : communication d'informations, relation de conseils, de soutien.

Il est alors couramment admis [Bonacich, 1987] que dans de tels réseaux les centralités de degré, d'intermédiarité et de proximité d'un nœud dénotent le pouvoir de l'acteur qui occupent cette position. Cela rejoint l'angle selon laquelle la SAO envisage le pouvoir : c'est la maîtrise d'une ressource dont dépendent les autres qui confèrent à l'acteur son pouvoir.

La *centralité de degré* d'un nœud correspond au nombre de liens d'un nœud du réseau. Dans le cas d'un réseau orienté, on distingue la centralité de degré entrant, qui compte les liens qui arrivent sur le nœud, de la centralité de degré sortant, qui compte les liens qui partent d'un nœud. Un nœud de centralité de degré élevée est un nœud connecté à beaucoup d'autres, ce qui se traduit par le fait que l'acteur correspondant dispose de beaucoup d'opportunités pour interagir avec les autres.

La *centralité de proximité* d'un nœud évalue la distance qui le sépare de tous les autres. Elle est définie comme l'inverse de la somme des distances géodésiques qui séparent le nœud  $\alpha$  des autres nœuds  $\beta$  du graphe  $\Gamma$  [Freeman, 1979b] .

$$C_{closeness}(\alpha) = \frac{1}{\sum_{\beta \in \Gamma} d(\alpha, \beta)}$$

Plus un nœud est proche des autres au sens de la centralité de proximité, plus il peut interagir avec une grande partie du réseau, même de façon indirecte.

Ces deux métriques caractérisent un acteur qui occupe une certaine position dans un réseau par l'étendue de ses moyens d'actions (le nombre de nœuds qu'il peut affecter) et la portée de son action (la distance qui le sépare des autres). Transposées dans un réseau de pouvoir effectif, ces mesures rendent compte de l'intensité du pouvoir d'un acteur, et l'étendue de sa zone d'influence.

### 7.8.2 Analyse des réseaux de pouvoir extraits d'un modèle d'organisation

Les réseaux auxquels on peut s'intéresser sont de deux types : d'un part des réseaux bipartites d'acteurs et de relations, et d'autre part des réseaux d'acteurs. Nous nous concentrerons sur les réseaux d'acteurs orientés, dont les arcs sont pondérés par le pouvoir ou l'influence que les acteurs exercent les uns sur les autres (voir [Chapron et al., 2011]) pour les autres genres). Un arc  $(a, b)$ , d'un acteur  $a$  vers un acteur  $b$  sera pondéré par la somme des impacts (ou des *impacts<sub>s</sub>*) sur l'acteur  $b$  des relations que  $a$  contrôle .

#### Les contours de la zone d'influence d'un acteur

La SAO postule que les relations de pouvoir entre acteurs sont transitives : un acteur  $a$  peut exercer son influence sur un acteur  $b$  auquel il n'est pas directement connecté, par l'intermédiaire d'un autre acteur  $c$ . Pour représenter ce phénomène, on peut considérer l'*incidence* du comportement d'un acteur  $a$  sur la satisfaction acteur  $b$ . Il s'agit d'une forme alternative de l'*influence relative* (voir la section indicateurs du chapitre trois )

L'incidence est le ratio entre l'influence qu'exerce  $a$  sur  $b$  et la satisfaction de  $b$ , dans une certaine configuration.

$$incidence(a, b, e) = \frac{influence(a, b, e)}{Satis(b, e)}$$

Cela nous permet d'exprimer l'*influence distante* qu'exerce un acteur  $a$  sur un acteur  $c$  par l'intermédiaire d'un acteur  $b$ .

$$influence_{dist}(a, c, e) = incidence(a, b, e) * influence(b, c, e)$$

Cette formule est généralisable à plusieurs acteurs  $b_i$  intermédiaires entre  $a$  et  $c$ . Supposons par exemple que l'acteur  $a$  contrôle des relations dont dépendent deux acteurs  $b_1$  et  $b_2$ , qui eux même contrôlent des relations dont dépendent l'acteur  $c$ . L'influence distante de  $a$  sur  $c$  s'écrit alors :

$$influence_{dist}(a, c, e) = \prod_{i=1,2} incidence(a, b_i) * influence(b_i, e)$$

Plus généralement, pour une chaîne de dépendance de longueur  $n$ , constitué des acteurs  $a_0, \dots, a_n$ , l'influence distante de  $a_0$  sur  $a_n$  s'écrit de la façon suivante :

$$influence_{dist}(a_0, a_n, e) = \prod_{i=0}^{n-1} incidence(a_i, a_{i+1}) * influence(a_{n-1}, a_n, e)$$

On peut remarquer que cette formule généralise l'influence d'un acteur sur un autre (voir chapitre 3) dans le cas où deux acteurs sont directement connectés.

On peut montrer que l'influence distante d'un acteur  $a$  sur un autre acteur  $b$ , séparé d'une distance  $d$  dans le réseau de pouvoir est donné par le terme  $(a, b)$  du produit matriciel suivant :

$$Incidence^{(d-1)} * Influence$$

où *Incidence* est une matrice carrée dont le terme  $Incidence_{i,j}$  est l'incidence de l'acteur  $i$  sur  $j$ , et *Influence* est la matrice d'influence(directe), dont le terme  $(i, j)$  est l'influence de  $i$  sur  $j$ . Le réseau de dépendance d'une organisation étant connexe, on peut donc exprimer l'influence distante d'un acteur sur n'importe quel autre.

### Interprétations des centralités

Dans un réseau d'influence, la centralité de degré entrant d'un nœud correspond directement à la satisfaction de l'acteur, et la centralité de degré sortant à l'influence. Le nombre de liens entrants s'interprète comme la variété de pressions que subit un acteurs, et la somme de leurs poids comme l'intensité de cette pression. De même, le nombre de liens sortant d'un nœud s'interprète comme la variété des moyens de pressions dont dispose un acteur, et la somme de leurs poids comme l'intensité de l'influence qu'il exerce.

Le calcul des centralités de proximité fait intervenir la somme des distances qui séparent un acteur des autres et qui sera dans ce cas la somme des influences distantes. La centralité de proximité de liens entrants d'un acteru  $a$  sera évaluée avec la somme des influences distantes des autres acteurs sur lui :  $\sum_{binA} influence_{dist}(b, a, e)$  De façon similaire, la centralité de proximité de liens sortants d'un acteurs  $a$  sera évaluée avec la somme des influences distantes qu'il exerce sur les autres :  $\sum_{binA} influence_{dist}(a, b, e)$ .

### 7.8.3 Équivalence structurelle dans un réseau de pouvoir

L'analyse de réseaux sociaux calcule le degré de similitude des arcs entrants et sortants de deux nœuds du réseau[Hanneman and Riddle, 2005]. Dans un réseau d'influence, les arcs entrant d'un nœud représentent à la fois les contraintes que subit l'acteur et les objectifs qu'il poursuit (sous-jacent à la dépendance de l'acteur aux autres). Les arcs sortants représentent les pressions qu'un acteurs exerce, ses moyens d'actions Nous proposons d'interpréter l'équivalence structurelle de la façon suivante :

		Arcs sortants	
		similaires	différents
Arcs entrants	similaire	coalition possible	solidarité
	différents	concurrence	

TABLE 7.11 – Interprétation de l'équivalence structurelle dans un réseau d'influence

Des acteurs dont les arcs entrants et sortants sont similaires dépendent des mêmes acteurs, subissent les mêmes pressions et disposent des mêmes moyens d'actions, ils sont interchangeables dans le réseau. Ils poursuivent le même objectif et pourraient former une coalition pour l'atteindre. Des acteurs dont les arcs entrants sont similaires mais dont les arcs sortants sont différents sont des acteurs qui subissent les mêmes pressions, tout en pouvant agir sur les autres de façon différente. Ils sont en situation de solidarité «objective» : ce qui est bon pour l'un est bon pour l'autre et inversement.

Enfin, deux acteurs dont les arcs entrants sont différents mais dont les arcs sortants sont similaires poursuivent des buts différents, mais font pression sur les mêmes acteurs. Ils sont en concurrence et chacun tentera d'éliminer l'autre s'il en a l'occasion.

Ce rapprochement avec l'analyse structurale des réseaux sociaux pose la question de la nature bouclée du pouvoir, dans le réseau des relations d'acteurs. Cette question, qui nécessiterait de nombreux développements, est laissée ouverte.

## Chapitre 8

# Évolution de la structure d'une organisation

### Table des matières

---

<b>8.1</b>	<b>La nature des évolutions envisageables de la structure d'une organisation</b>	<b>169</b>
8.1.1	Ce que dit la SAO . . . . .	170
8.1.2	Les circonstances de l'évolution structurelle endogène . . . . .	171
8.1.3	L'évolution structurelle endogène par la modification des paysages . . . . .	171
8.1.4	Érosion des paysages et routinisation de l'organisation . . . . .	173
<b>8.2</b>	<b>Éléments pour la simulation de l'évolution structurelle</b>	<b>174</b>
8.2.1	«La raison qui pousse à agir dit aussi comment faire» . . . . .	175
8.2.2	Quelques exemples de mobiles et les indicateurs associés . . . . .	176
8.2.3	Formation de coalitions sur la base des similarités d'intérêts des acteurs . . . . .	177
<b>8.3</b>	<b>Simulation de l'évolution structurelle des organisations par la modification des enjeux</b>	<b>177</b>
8.3.1	Objectifs et principes de la simulation de l'évolution . . . . .	178
8.3.2	Caractérisation de la perception et de l'action des acteurs . . . . .	179
8.3.3	Approche préliminaire : répartition aléatoire des enjeux . . . . .	179
8.3.4	Approche par recuit simulé . . . . .	183
8.3.5	Approche par apprentissage . . . . .	187
8.3.6	Approche par des acteurs utilisant davantage d'information . . . . .	189
8.3.7	Modification des enjeux des autres acteurs . . . . .	189
<b>8.4</b>	<b>Conclusion</b>	<b>191</b>

---

Lorsque nous avons introduit la fonction de transfert d'une organisation (cf. chapitre 6) pour étudier les différents paysages auxquels elle donne lieu, nous avons mis en évidence les deux rétroactions de cette fonction de transfert, phénomènes constitutifs des organisations sociales : la régulation des comportements et l'évolution structurelle endogène de l'organisation. L'analyse des paysages du chapitre précédent nous a permis de mieux cerner l'effet de la structure de l'organisation sur la première rétroaction ; dans ce chapitre, nous allons nous pencher sur la seconde.

Au chapitre précédent, les paysages nous ont permis d'objectiver le contexte du *jeu social*, dans lequel l'ajustement des comportements des acteurs déterminent leurs situations : la régulation se déroule à structure fixée. Dans ce chapitre, nous nous intéressons à une autre dynamique : celle du jeu social et donc de la structure même de l'organisation. Il ne s'agit plus pour les acteurs d'ajuster leur comportement afin d'atteindre une situation favorable à la poursuite de leurs objectifs, mais de faire évoluer les règles du jeu pour qu'elles tournent à leur avantage. Il s'agit donc d'un autre jeu social, plus stratégique, où les acteurs, s'ils poursuivent le même méta-objectif, agissent par d'autres moyens. Dans le jeu social de régulation, un acteur agit de façon *réactive* sur l'état des relations qu'il contrôle, en fonction de son ambition et de sa satisfaction. Les résultats de la régulation sont évalués par les indicateurs situés du modèle de l'organisation. Dans le jeu social de l'évolution, un acteur agit sur la structure de ce jeu de façon *proactive*, et l'évaluation des résultats de l'évolution fait intervenir des indicateurs structurels du modèle.

## 8.1 La nature des évolutions envisageables de la structure d'une organisation

Nous abordons les évolutions endogènes d'une organisation en considérant la modification des paramètres structurels de son modèle. Rappelons les paramètres structurels d'un modèle d'organisation :

- $\mathbb{A}$ , l'ensemble des acteurs,
- $\mathbb{R}$ , l'ensemble des relations,
- $\mathcal{C}$ , la matrice des contrôles,
- $Enj$ , la matrice d'enjeux,
- $Eff$ , la matrice des fonctions d'effets,
- $Sol$ , la matrice des solidarités,
- l'ensemble des bornes  $b_{min}$  et  $b_{max}$  des relations,
- l'ensemble des fonctions de contraintes entre les relations.

Certaines caractéristiques structurelles définissent l'identité de l'organisation, sa raison d'être, et ne devraient pas être radicalement altérées par l'action des acteurs, sauf à dénaturer l'organisation. Selon les cas, il appartient au modélisateur de fixer la portée des modifications structurelles envisageables, sachant que certains aspects de la structure d'une organisation devraient perdurer à travers son évolution. De manière à ce que les structures par lesquelles une organisation passe restent comparables, on considèrera que le triplet  $\mathbb{A}, \mathbb{R}, \mathcal{C}$  est invariant<sup>1</sup>.

Les fonctions d'effet sont déterminées par la façon dont les acteurs se représentent la nature des relations ; il semble très difficile d'appréhender dans quelles directions ces représentations pourraient évoluer, sans compter que l'espace des fonctions d'effets possibles est colossal. Les fonctions de contraintes tiennent à la nature des relations, des ressources sous-jacentes et de leurs interférences, leurs évolutions ne relèvent pas du comportement des acteurs. Enfin, l'idée de considérer l'évolution des bornes des relations est séduisante, puisqu'elle permettrait de faire progressivement apparaître (et disparaître) des marges de manœuvre qui étaient jusqu'à présent inaccessibles, cependant nous ne l'avons pas abordée.

Nous évoquerons principalement la modification des enjeux et des solidarités d'un modèle d'organisation. Ces limites étant précisées, nous décrivons dans les sections suivantes les éléments à considérer pour simuler l'évolution structurelle endogène d'une organisation.

---

1. Ceci dit, certains indicateurs structurels permettent de comparer des organisations qui ne sont pas constituées des mêmes acteurs et relations.

### 8.1.1 Ce que dit la SAO

La SAO considère les organisations telles qu'elles se présentent au moment de leur observation, sans envisager leur évolution. Friedberg [Friedberg, 1992] évoque cependant "la séquence génétique" des Systèmes d'Action Concret" qu'il considère selon quatre dimensions :

1. le degré de formalisation et de codification de la régulation,
2. le degré de prise de conscience de la régulation par les acteurs et des effets de la (non-)coopération,
3. le degré de finalisation de la régulation en fonction des effets de la coopération,
4. le degré de délégation de la régulation à des acteurs chargés d'arbitrer entre les conflits d'intérêt.

Mais les formes que cette séquence pourrait prendre ne sont pas précisées davantage.

Pour la SAO, l'organisation est un construit social que les acteurs façonnent dans le cours de leur activité, et dans le même temps cette organisation détermine les moyens et les effets de leurs actions. Nous représentons l'articulation entre la structure d'un SAC et le comportement de ses acteurs, entre les niveaux organisationnel et individuel, comme montré sur la figure 8.1. Nous distinguons le plan de l'organisation et celui des acteurs, même s'ils sont en constante interaction : l'organisation contraint les acteurs et leurs interactions, les acteurs construisent l'organisation.

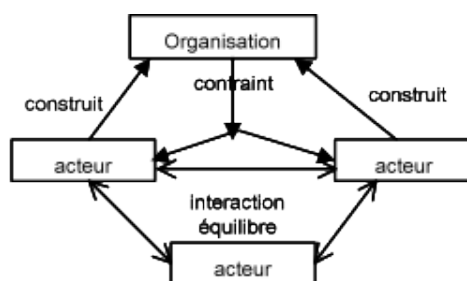


FIGURE 8.1 – Les acteurs et l'organisation d'un SAC

Le cadre théorique de la SAO amène à distinguer deux dimensions dans l'action d'un acteur qui cherche à préserver ou conforter sa capacité d'action : une dimension structurelle qui agit sur la structure du système et contribue à son évolution, et une dimension fonctionnelle qui agit sur la configuration que cette structure autorise. La dimension *structurelle* de l'action est la part qui contribue à la construction du SAC comme organisation, à l'établissement des règles du jeu social et qui donc consiste, selon notre formalisation d'un SAC, à faire évoluer les relations, les contraintes, les solidarités et les enjeux qui constituent sa structure. Quant à la dimension *fonctionnelle* de l'action d'un acteur, c'est elle qui s'exerce dans le cadre de la régulation du système ; elle concourt à la réalisation des objectifs de l'acteur (sans chercher à distinguer dans ces objectifs la part qui lui est institutionnellement plus ou moins imposée par son rôle dans l'organisation et ce qui relève de ses objectifs propres).

Cette distinction est classique : la dimension fonctionnelle correspond à la vue synchronique qui se déploie dans le système et lui permet de rester dans un certain équilibre interne et vis à vis de son environnement, tandis que la dimension structurelle correspond à la vue diachronique par laquelle le système se transforme et évolue, plus ou moins irréversiblement. Ces deux dimensions sont indissociables dans l'action concrète d'un acteur ; on ne saurait envisager un SAC dans lequel les règles du jeu seraient définitivement figées, ou bien dans lequel ces règles du jeu évolueraient indépendamment des interactions directes entre acteurs. Chaque acte comporte une composante structurelle et une composante fonctionnelle, dans une proportion qui est spécifique aux conditions dans lesquelles cet acte est réalisé.

Plus précisément, c'est dans l'atomicité des modalités pratiques de réalisation d'actes concrets que ces deux dimensions sont indissociables, tandis que l'effet d'un acte, lui, peut se décomposer en une composante structurelle et une composante fonctionnelle. Puisque nous ne cherchons pas à modéliser ces modalités pratiques et que nous ne nous intéressons qu'aux effets des actes, modéliser l'action des acteurs par des mécanismes spécifiques à chacune de ces dimensions n'est pas en contradiction avec la SAO.

Cette dimension structurelle concerne l'évolution structurelle *endogène* d'une organisation et son évolution structurelle *exogène*, du fait de l'évolution de son environnement.

La question de l'évolution exogène se pose dans les mêmes termes que son évolution endogène : l'adaptation d'une organisation à un changement dans son environnement donne lieu à une évolution de sa structure qui est de même nature que la dimension structurelle de l'action des acteurs. Mais puisque, par définition, une organisation ne contrôle pas l'évolution de son environnement, il n'y a pas lieu de chercher à simuler son évolution<sup>2</sup>.

### 8.1.2 Les circonstances de l'évolution structurelle endogène

Supposons qu'un acteur particulièrement perspicace et qui maîtrise bien les (méta-)règles du jeu social tente de changer les règles du jeu. Pour ce faire, nous considérons trois éléments (classiquement considérés dans le domaine judiciaire) : un *mobile* qui le pousse à agir en vue d'un certain objectif, un *moyen* pour mener à bien cette action et enfin une *opportunité* de mettre en œuvre ce moyen.

Pour un acteur organisationnel, les *mobiles* pour changer la structure du jeu sont nombreux. Par exemple, l'acteur peut s'estimer systématiquement désavantagé, se retrouver en conflit systématique avec un (ou plusieurs) autres, ou se trouver en perpétuelle position d'instabilité, et décider d'essayer de changer cet état de fait (voir section 5 du chapitre 7 pour les outils qui permettent de rendre compte de ces situations). Il peut également poursuivre des buts plus généraux, comme réduire l'écart de capacité qui le sépare des autres, parvenir à des configurations régulées plus égalitaires, ou à l'inverse, plus profitables à son bénéfice exclusif.

La SAO ne dit rien sur les *moyens* qu'emploient les acteurs sociaux pour peser sur la structure de l'organisation au point de la faire évoluer. Les comportements des acteurs sont plus ou moins déterminés par la structure de l'organisation, qui modèle le relief des paysages de satisfaction. Un acteur qui change les règles du jeu modifie la structure de l'organisation et en déforme les paysages en escomptant que ce soit conformément à son mobile. On peut par ailleurs avancer qu'outre une bonne connaissance du jeu, il faudra que l'acteur dispose d'un certain pouvoir ou d'une certaine influence pour arriver à ses fins : il doit pouvoir amener les autres acteurs à se comporter conformément à ses visées. Nous ne détaillerons pas les conditions requises pour qu'un acteur soit en mesure d'entreprendre des modifications structurelles, pourvu qu'il dispose d'un certain pouvoir (ou influence) à la fois structurel et situé : toute action de l'envergure d'une modification structurelle, en particulier si elle porte sur les paramètres structurels qui concernent les autres acteurs, ne peut pas être réalisée par un acteur qui ne dispose pas d'alliance et/ou de moyens de pressions, aussi bien effectifs (pouvoir situé) que potentiels (pouvoir structurel).

Enfin, la notion d'*opportunité* est plus délicate : le monde social étant imprévisible, les éventuelles opportunités le sont par nature, et la notion d'opportunité dans le monde social échappe à la modélisation. Il reviendra au modélisateur de déterminer la meilleure façon de s'en accommoder.

Précisons maintenant de quelles façons les acteurs pourraient modifier la structure du jeu.

### 8.1.3 L'évolution structurelle endogène par la modification des paysages

Nous abordons deux sortes de modifications structurelles du point de vue d'un acteur : celles qui portent sur son propre paysage de satisfaction, et celles qui portent sur les paysages de satisfaction des autres.

---

2. Notons que cette évolution peut concerner la maîtrise de la dépendance vis à vis de l'environnement, l'un des quatre types de zones d'incertitudes reconnus par la SAO.

## Modification de son propre paysage de satisfaction

Le paysage de satisfaction d'un acteur détermine sa situation en fonction de la configuration de l'organisation. Ce paysage est déterminé par la structure de l'organisation, et l'acteur ne peut s'y déplacer de lui-même que selon les dimensions correspondant aux relations qu'il contrôle. En ce qui concerne les autres dimensions du paysage, la situation de l'acteur est soumise aux comportements des autres.

Donner la possibilité à un acteur de modeler intégralement son paysage de satisfaction reviendrait à considérer qu'il est seul à construire l'organisation. Ce n'est pas le cas, et la nature des modifications qu'il peut entreprendre ne doit pas dépasser certaines limites, qu'il revient au modélisateur de fixer.

On peut envisager qu'un acteur modèle son paysage de satisfaction de façon à ce qu'il présente certaines propriétés qui reflètent sa «sensibilité stratégique», sa façon de jouer le jeu social. Pour illustrer cette possibilité, nous présentons deux idéaux-types opposés : l'acteur *optimisateur* et l'acteur *averse au risque*.

L'acteur optimisateur cherchera à accentuer le relief de son paysage, pour en surélever les sommets et particulièrement les situations dans lesquelles il se trouve lorsque l'organisation est régulée. Nous faisons de plus l'hypothèse que cette élévation des sommets du paysage d'un acteur n'est possible qu'en contrepartie d'une diminution de la stabilité globale de son paysage : son paysage n'est pas globalement surélevé, mais plutôt resserré, comme l'indique schématiquement la figure 8.2a.

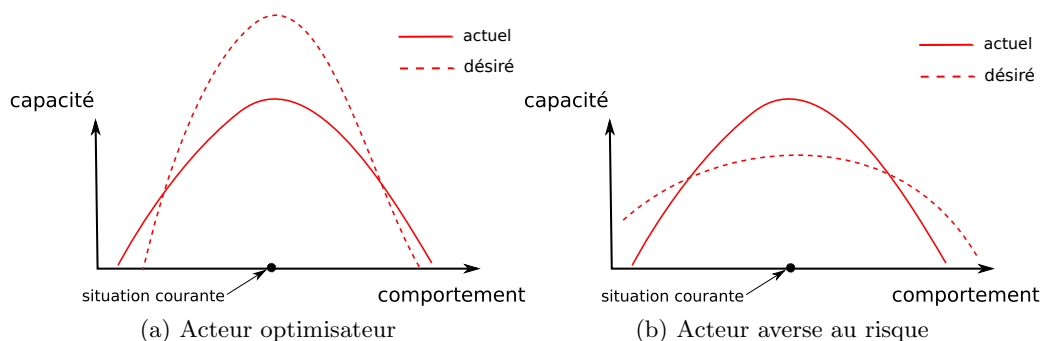


FIGURE 8.2 – Allure type de transformations de paysages suivant la sensibilité stratégique d'un acteur

L'acteur averse au risque suivra la tendance opposée : il cherchera à adoucir le relief de son paysage de satisfaction, particulièrement au niveau de sa situation quand l'organisation est régulée, ceci au prix d'une baisse du niveau des éminences de son paysage, comme le montre la figure 8.2b.

Nous interprétons ces changements de relief comme une *transformation* des éminences plutôt qu'une création ex nihilo de relief. L'idée - qui reste à justifier - est que la «quantité de moyen d'action» d'un paysage de satisfaction est plus ou moins constante, et que l'acteur répartit cette quantité selon sa sensibilité stratégique, sans pour autant pouvoir ni en créer, ni en détruire. L'intégrale du paysage sur l'espace de comportement des relations nous semble correspondre à cette notion de quantité de moyen d'action. Selon cette hypothèse, augmentation de la stabilité des éminences et augmentation de l'altitude des éminences s'excluent l'une l'autre, ou du moins ne sont qu'exceptionnellement conciliables.

## Modification des paysages de satisfaction des autres acteurs

Un acteur qui maîtrise bien les règles du jeu social, et qui s'est construit une bonne idée de sa structure, pourrait agir de façon à modifier partiellement la structure de l'organisation, en se concentrant sur les paramètres structurels qui concernent les autres acteurs. L'acteur qui entreprend cette altération a pour objectif d'influencer la régulation du comportement d'autres acteurs de façon à ce qu'elle améliore sa propre situation. Cela revient à déformer le paysage de satisfaction des autres acteurs, pour induire un changement de leur comportement. Donnons un exemple simple.



Soient deux acteurs  $a$  et  $b$  d'une organisation, tels que  $a$  dépende d'une relation  $r$  que contrôle  $b$ . Soient  $e^{ini}$  une configuration dans laquelle l'organisation est régulée, et  $e_r^{ini}$  la valeur de l'état de  $r$  dans cette configuration.

Selon la dimension associée à  $r$ , le paysage de satisfaction de  $a$  est tel que sa situation dans la configuration  $e^{ini}$  n'est pas satisfaisante (voir figure 8.3).

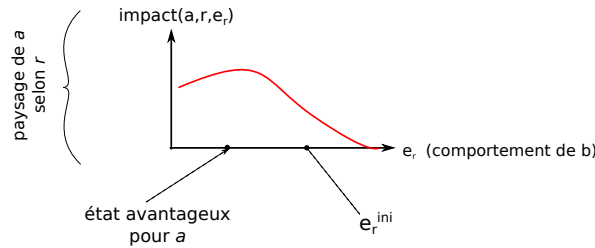


FIGURE 8.3 – Paysage de satisfaction de  $a$  selon  $r$

Les raisons qui ont conduit l'organisation à se réguler dans  $e^{ini}$  sont possiblement nombreuses et ne relèvent pas que du comportement de  $b$ ; supposons pour simplifier que dans le paysage initial de satisfaction de  $b$  selon  $r$ ,  $e^{ini}$  corresponde à une situation satisfaisante (voir figure 8.4). L'acteur  $b$  a donc de bonnes raisons d'avoir fixé l'état de  $r$  à  $e_r^{ini}$ .

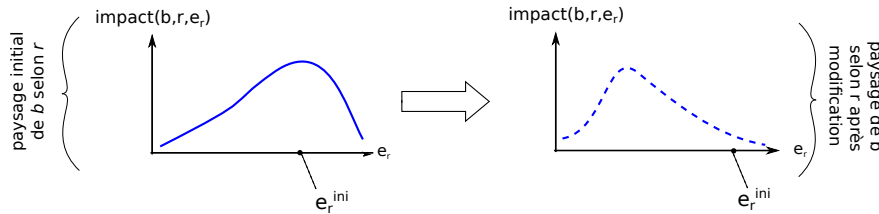


FIGURE 8.4 – Transformation du paysage de satisfaction de  $b$  selon  $r$ , telle que  $a$  pourrait l'effectuer

Pour induire un changement dans le comportement de  $b$ ,  $a$  pourrait faire en sorte de modifier le paysage de satisfaction de  $b$  de façon à faire coïncider les situations qui l'avantagent avec celles qui avantagent  $b$  (voir figure 8.4). Dans ce nouveau paysage,  $e^{ini}$  n'est plus aussi satisfaisante pour  $b$  : lors d'une nouvelle régulation,  $a$  peut espérer le voir réagir et fixer  $e_r$  à une valeur plus satisfaisante pour  $b$  et pour lui.

De manière générale, il s'agit pour un acteur de re-modeler le paysage de satisfaction d'un autre pour que l'acteur ciblé se positionne dans une zone déterminée. Deux stratégies peuvent être employées dans ce but : soit en «attirant» l'acteur dans la zone cible, en augmentant l'altitude des situations correspondantes, comme dans l'exemple ci-dessus, soit en «chassant» l'acteur de la configuration initiale, en diminuant significativement l'altitude des situations correspondantes.

#### 8.1.4 Érosion des paysages et routinisation de l'organisation

Pour poursuivre l'analogie entre paysages de satisfaction et paysages géographiques, nous pouvons envisager l'érosion des paysages d'une organisation. Nous interprétons une érosion du relief des paysages comme une forme de routinisation des pratiques au sein de l'organisation qui opacifie la conscience que les acteurs ont de leurs situations et de ce fait rend beaucoup plus coûteuse, pour chacun, une modification de son comportement. Cette transformation est globale à l'organisation, et n'est pas le fait d'une stratégie intentionnelle des acteurs. Avec le temps, les acteurs internalisent les règles du jeu social, les compromis issus de négociations entre acteurs s'institutionnalisent.

Contrairement aux évolutions structurelles réalisées par les acteurs, qui peuvent être perçues comme des ruptures, l'effet de la routinisation est plus lent et progressif; pour que la routine s'installe, il faut que la structure de l'organisation n'ait pas subi de perturbations pendant suffisamment longtemps.

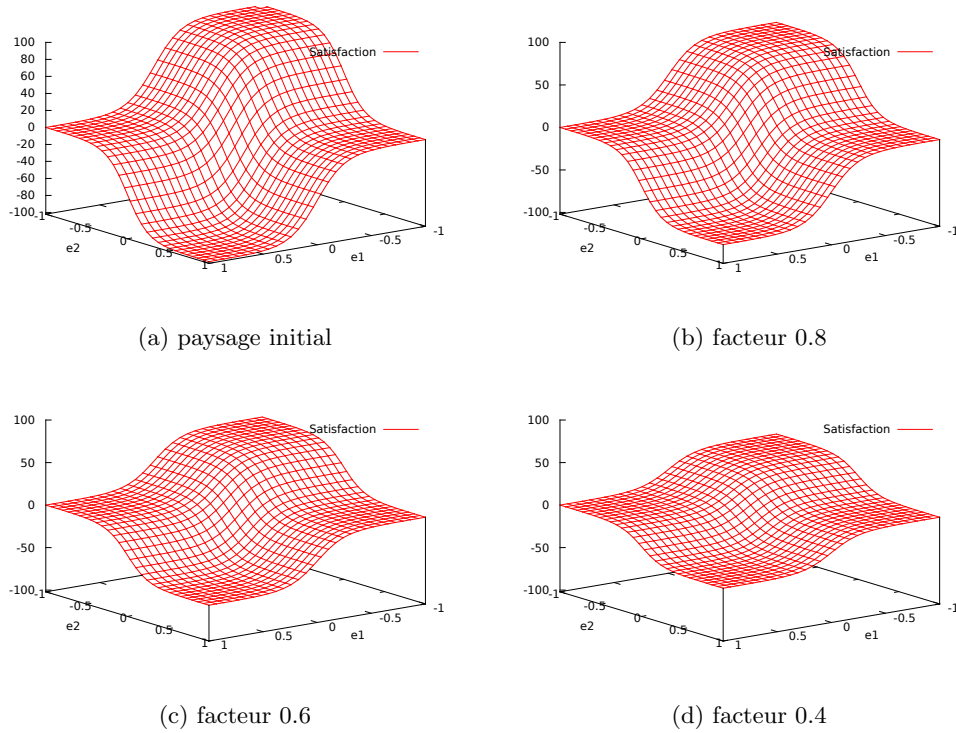


FIGURE 8.5 – Effets de l'application de différents coefficients à un paysage tridimensionnel

Une façon simple de formaliser l'érosion des paysages est de leur appliquer un coefficient inférieur à 1. La figure 8.5 montre l'effet d'érosions de coefficient différents sur un paysage<sup>3</sup>.

Pour modifier les paysages de façon plus sophistiquée, il faudra se tourner vers des opérateurs de morphologie mathématique continue [Schmitt and Mattioli, 1994]. Ces opérateurs sont traditionnellement utilisés dans le domaine du traitement d'images, pour accentuer les contours, éroder ou dilater des zones de l'image. Les opérateurs morphologiques à retenir sont ceux qui accentuent le relief d'un paysage (on pourrait dire qui affutent les arêtes et les sommets) et ceux qui comblent les fosses. Sans rentrer dans les détails, nous donnons les opérateurs de dilatation et d'érosion d'une fonction  $f$  par une fonction  $g$  (auss appelée *élément structurant fonctionnel*).

La dilatation d'une fonction  $f$  par une fonction  $g$  est la fonction définie par :

$$\forall x \in \mathbb{R}^n, D(f, g)(x) = \sup\{f(y) + g(y - x), y \in \mathbb{R}^n\}$$

L'érosion d'une fonction  $f$  par une fonction  $g$  est la fonction définie par :

$$\forall x \in \mathbb{R}^n, D(f, g)(x) = \inf\{f(y) + g(y - x), y \in \mathbb{R}^n\}$$

La figure 8.6 montre de façon schématique les effets d'un élément structurant circulaire sur un profil de paysage.

L'interprétation sociologique précise de ces opérateurs et de leurs conséquences, et le choix des paramètres des éléments structurants fonctionnels restent ouverts à la discussion.

## 8.2 Éléments pour la simulation de l'évolution structurelle

De même que les configurations définies par la structure d'une organisation ne sont pas toutes socialement plausibles, les formes que peut revêtir la structure d'une organisation ne sont pas toutes susceptibles d'advenir ou de perdurer. D'une part, parce que les acteurs qui en auraient la capacité

3. Si la routinisation peut sécuriser les « avantages acquis » comme cet exemple peut le laisser penser, ce n'est pas nécessairement le cas : s'appliquant de façon différenciée aux acteurs, elle peut conduire à une modification de la configuration dans laquelle l'organisation se régle.

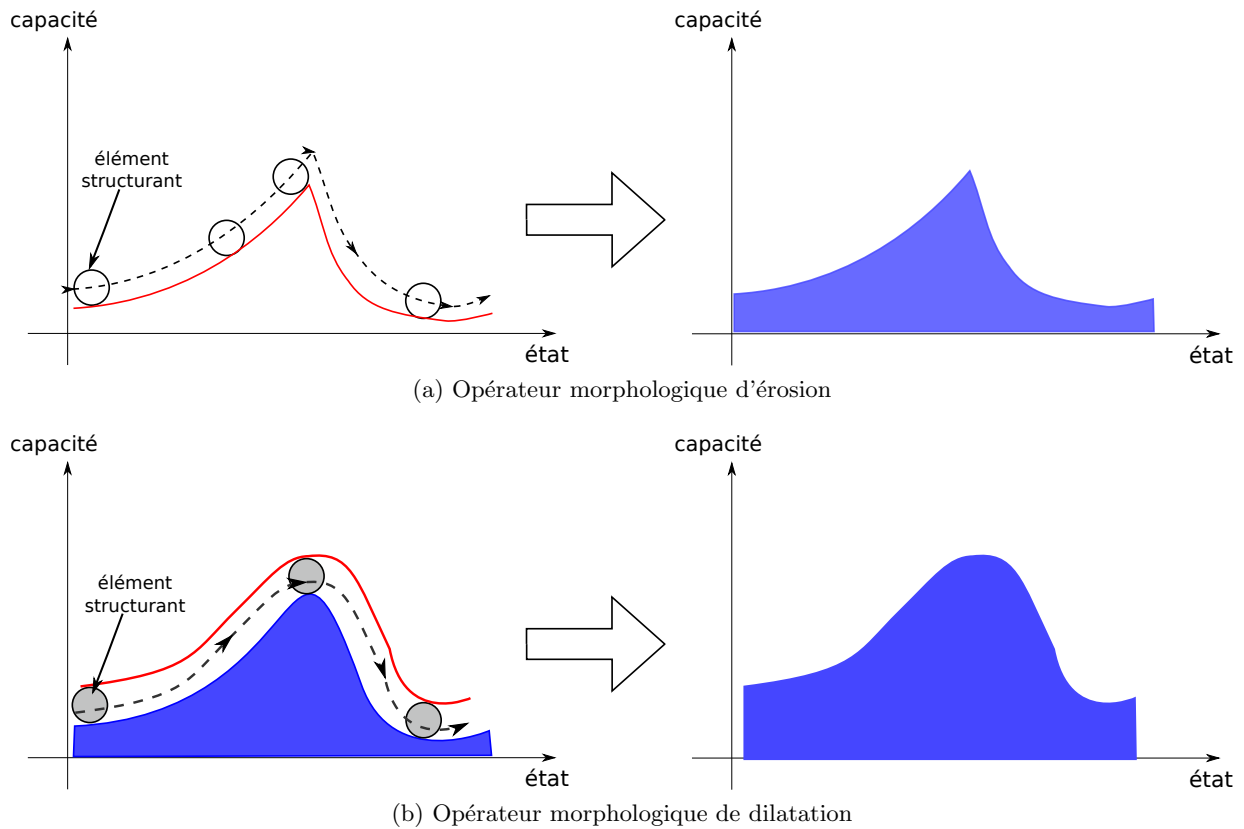


FIGURE 8.6 – Érosion et dilatation globale d'un paysage par opérateurs morphologiques

ne laisseraient pas la structure de l'organisation évoluer vers une forme qui les pénalise trop. D'autre part parce que certaines structures organisationnelles ne sont pas viables, soit qu'elles ne permettent pas aux acteurs de régulariser leurs comportements, soit parce qu'elles sont trop inégalitaires, ou encore parce qu'elles ne peuvent se régulariser que dans des configurations qui rendent inaccessibles les objectifs de l'organisation, et donc sa raison d'être.

### 8.2.1 «La raison qui pousse à agir dit aussi comment faire»

Que ce soit pour réagir à un état de fait défavorable, de manière défensive, ou pour essayer d'atteindre une situation meilleure, de manière agressive, un acteur qui entreprend de modifier la structure du jeu social poursuit un objectif; son comportement est, comme pour la régulation, motivé par une visée. Nous allons formaliser «la raison qui pousse à modifier la structure» comme un écart entre la position courante de l'acteur et celle qu'il souhaite obtenir.

Pour ce faire, nous allons définir la *position* d'un acteur  $a$  dans une organisation comme le couple  $pos(a) = (\mathbb{S}, S)$  où  $\mathbb{S}$  est la structure de l'organisation et  $S$  la situation de l'acteur lorsque l'organisation est dans une configuration correspondant à une régulation plausible :

- $\mathbb{S}$  est la donnée des paramètres structurels de l'organisation auxquels l'acteur a accès,
- $S_{reg}$  est la situation de l'acteur  $a$  lorsque l'organisation de structure  $\mathbb{S}$  est régulée.

L'objectif de l'acteur lorsqu'il entreprend une modification structurelle est de parvenir à une meilleure position dans l'organisation : une structure différente dans laquelle sa situation sera plus avantageuse. Pour guider le comportement d'un acteur, il faut être en mesure d'évaluer l'efficacité de son action et donc de comparer les positions. Il faut donc déterminer un indicateur  $\mathbb{I}(pos(a))$ , évaluant la qualité de la position d'un acteur  $a$ . Donnons un exemple.

Supposons qu'un acteur se retrouve à l'issue de la régulation dans une situation où sa capacité d'action est faible, alors que sa satisfaction est relativement élevée. Cet acteur n'a pas les moyens d'atteindre ses propres objectifs, bien qu'il perçoive sa situation comme satisfaisante, ce qui est paradoxal. C'est l'écart entre satisfaction et capacité d'action qui va pousser l'acteur à agir, avec l'objectif de le

diminuer. On a donc :

- la structure initiale  $\mathbb{S}_{ini}$ , dans laquelle la configuration régulée  $e_{reg}^{ini}$  est telle que l'écart entre la satisfaction et la capacité d'action de  $a$  est important.
- L'indicateur  $\mathbb{I}$ , qui mesure l'écart entre la satisfaction perçue par l'acteur et sa capacité d'action dans la situation  $S$ .
- La structure but,  $\mathbb{S}_{but}$ , qui remplit les objectifs de l'acteur, i.e. la valeur de  $\mathbb{I}(\mathbb{S}_{but}, S_{reg}^{but})$  est plus avantageuse pour l'acteur.

Dans cet exemple, l'objectif de l'acteur  $a$  est de réduire l'écart entre sa satisfaction et sa capacité d'action, de façon à ce que  $\mathbb{I}(\mathbb{S}_{ini}, S_{reg}) < \mathbb{I}(\mathbb{S}_{but}, S_{reg}')$ . L'indicateur  $\mathbb{I}$  est simple à écrire, on a :

$$\begin{aligned}
\mathbb{I}(\mathbb{S}, S) &= Satis(a, e) - CA(a, e) \\
&= \sum_{r \in R} (impact_s(a, r, e) - impact(a, r, e)) \\
&= \sum_{b \in \mathbb{A}, b \neq a} \sum_{r \in R} sol(a, b) * impact(b, r, e) + (sol(a, a) - 1) * \sum_{r \in R} impact(a, r, e)
\end{aligned}$$

où  $e$  est la configuration qui correspond à la situation  $S$ . L'expression de  $\mathbb{I}$  nous donne les paramètres structurels qui interviennent dans sa valeur (ici, les solidarités de  $a$ , les enjeux et les effets). Pour réduire l'écart entre satisfaction et capacité d'action, il semble naturel pour  $a$  de revoir ses solidarités plutôt que de modifier les enjeux des autres acteurs et les effets des relations.

De manière générale, l'objectif poursuivi par l'acteur doit être formalisé par un indicateur. Cet indicateur prendra la forme d'un écart entre la situation (au sens large) actuelle de l'acteur et celle qu'il vise, et son expression comporte les paramètres structurels qu'il va tenter de modifier. En d'autres termes, la raison qui pousse un acteur à modifier les règles du jeu, indique aussi «quoi faire» pour les modifier.

## 8.2.2 Quelques exemples de mobiles et les indicateurs associés

De même que les indicateurs situés sont utilisés pour évaluer les configurations, nous allons mobiliser les indicateurs structurels pour évaluer les modifications de la structure du jeu. Nous donnons ici quelques exemples de modifications qu'un acteur pourrait entreprendre, l'objectif associé et les indicateurs utilisés pour en mesurer l'effet.

Un acteur peut se comporter de façon à jouer sur la pertinence d'une relation, ce qui revient à modifier les enjeux que les acteurs posent sur cette relation. L'objectif sous-jacent est d'augmenter ou de diminuer le pouvoir et l'influence structurels de l'acteur qui la contrôle. Dans ce cas simple, l'indicateur associé à la modification est la pertinence de la relation ciblée par l'acteur.

L'acteur de sensibilité «averse au risque» présenté à la section 8.1.3 a pour objectif d'augmenter la stabilité de son paysage, tout du moins dans les environs de la configuration où l'organisation se régule. Une façon simple d'adoucir le relief d'un paysage est de diminuer l'enjeu posé sur au moins une des relations qui provoquent l'éminence, de préférence celle dont la composante dans le gradient de satisfaction est plus élevée, et de reporter ces points d'enjeu sur des relations ayant un effet positif à proximité de cette éminence. Pour mesurer l'effet d'une telle modification, on peut considérer la différence entre les gradients de satisfactions du paysage initial et du paysage final, ou celle de leurs normes, dans les configurations régulées des structures initiale et finale.

L'acteur de sensibilité «optimisatrice», quant à lui, cherchera à surélever les éminences de son paysage de satisfaction, au prix d'une diminution de sa stabilité. Pour accentuer le relief du paysage de satisfaction dans ce secteur, il peut par exemple augmenter la valeur de ses enjeux sur certaines relations en fonction de leur force. On mesure l'effet d'une telle modification par l'écart entre les satisfactions maximales des deux paysages, et l'écart entre les gradients de satisfaction dans les configurations régulées, ou celui de leurs normes.

L'exercice d'un certain pouvoir par un acteur  $a$  sur un autre acteur  $b$  soulève immédiatement la question de la légitimité de ce pouvoir, i.e. l'acquiescement à cette exercice par  $b$ , et éventuellement par ceux qui en sont les témoins. La légitimation, i.e. la reconnaissance de la légitimité du pouvoir, dont les sources ont été initialement analysées par Max Weber, apparaît comme une ressource qui est antithétique de tout exercice du pouvoir. On peut donc s'attendre à ce qu'un acteur qui conteste la légitimité du pouvoir exercé par un autre acteur entreprenne, s'il en a les moyens, de contester l'exercice de ce pouvoir, soit en adaptant son comportement dans ce sens, soit en modifiant les règles du jeu<sup>4</sup>. Notre modèle des organisations ne permet pas d'évaluer le degré de légitimité du pouvoir exercé par les acteurs ; par exemple, si l'on s'en tient à la légitimité rationnelle fondée sur les règles formelles d'une organisation, il faudrait pour cela distinguer, dans le comportement d'un acteur, ce qui relève strictement de son rôle de ce qui relève de la façon jugée abusive dont il l'interprète. Dans ce cas, l'indicateur à considérer est l'écart entre le pouvoir exercé et celui reconnu comme légitime. En l'état, notre modèle des organisations n'est pas assez fin pour définir un tel indicateur, et donc pour aborder cette question.

### 8.2.3 Formation de coalitions sur la base des similarités d'intérêts des acteurs

Le calcul des produits scalaires de deux gradients de satisfactions du chapitre sept permet de mesurer la convergence des intérêts de deux acteurs au voisinage d'une configuration.

La similarité des intérêts de deux acteurs peut justifier qu'ils renforcent mutuellement leurs solidarités pour conforter leurs capacités respectives ou, inversement s'ils sont en conflit, que leurs solidarités deviennent négatives pour entrer dans le registre de l'hostilité. La modification des solidarités en fonction de la (dis)similarité de leurs intérêts va infléchir la façon dont les acteurs ajustent leurs comportements et entraîner une nouvelle régulation, par la répétition du cycle suivant :

1. L'organisation se régle dans une certaine configuration  $e$ .
2. les acteurs modifient leurs solidarités en fonction des similarités ou des conflits d'intérêts avec d'autres, ce qui modifie la définition de leur satisfaction.
3. L'organisation se régle dans une nouvelle configuration, guidée par les mises à jour des satisfactions des acteurs.

Étendu à l'ensemble des acteurs d'une organisation, cet ajustement des solidarités peut mener à la formation de communautés d'intérêts stratégiques.

## 8.3 Simulation de l'évolution structurelle des organisations par la modification des enjeux

Simuler la régulation du comportement des acteurs nécessite qu'ils disposent d'une certaine connaissance de l'état du jeu : ils perçoivent leur situation par les impacts des relations dont ils dépendent, i.e. l'effet que produit sur eux la configuration de l'organisation, et agissent sur cette configuration en vue d'améliorer cette situation. Simuler l'évolution structurelle d'une organisation nécessite de même que les acteurs disposent de connaissances sur la structure de l'organisation pour agir sur cette même structure.

Nous n'avons pas développé d'algorithme générique de l'évolution de la structure des organisations. Plus précisément, nous n'avons pas abordé l'évolution des fonctions d'effets dont l'espace des valeurs est immense, même si certaines caractéristiques comme l'amplitude sont facilement modifiables. En revanche, nous disposons de l'étude réalisée par Rémy Cazabet [Cazabet, 2009] dans le cadre d'un stage de Master 2. Cette étude porte sur une extension de la rationalité des acteurs sociaux leur permettant de manipuler les enjeux des relations, ce qui revient à réviser les objectifs que les acteurs poursuivent. Elle s'étend tout naturellement à la manipulation des solidarités puisque, formellement, ces dernières ne font que pondérer les enjeux. Nous présentons dans cette section les résultats de cette étude.

---

4. Ces considération sur la légitimité du pouvoir son dues à P. Roggero, communication personnelle.

### 8.3.1 Objectifs et principes de la simulation de l'évolution

L'objectif de cette étude était double : il s'agit d'une part de trouver des algorithmes individu-centré permettant aux acteurs de faire évoluer la structure de l'organisation, et d'autre part d'étudier les comportements des acteurs et d'en observer les résultats sur la structure.

Les actions qu'un acteur peut entreprendre sont restreintes à des modifications de paramètres structurels, il ne s'agit pas de transformer radicalement la structure de l'organisation, en ajoutant des relations ou des acteurs à la structure initiale. Le but est de voir comment les acteurs peuvent s'emparer d'une structure actualisée pour l'adapter à leur convenance, pas d'explorer l'espace de toutes les organisations qu'ils pourraient concevoir.

Le respect de la vraisemblance dans les registres social et psycho-cognitif impose certaines contraintes à ces algorithmes. La rationalité limitée des acteurs étendue à la modification de la structure des organisations devrait conduire à des structures socialement plausibles. Par exemple, une évolution qui amènerait la satisfaction moyenne des acteurs à sa valeur maximale n'est pas forcément socialement plausible si cet optimum est atteint pour une structure dans laquelle, une fois régulée, un des acteurs a une très mauvaise satisfaction : cet acteur continuera à modifier son comportement (i.e. modifier la structure) de façon à améliorer sa satisfaction, empêchant le jeu de se réguler, et donc la structure de l'organisation de se stabiliser ainsi. L'objectif d'un algorithme pour la simulation de l'évolution structurelle est alors de trouver la meilleure (que nous interprétons comme la plus coopérative) structure permettant une régulation satisfaisante pour chacun.

Expérimentalement, il s'agit d'entrelacer évolution et régulation dans un même algorithme (cf. algorithme 3).

---

**Algorithm 3** Pseudo-code d'algorithmes de simulation de l'évolution

---

```
initialisation évolution (i)
 $\mathbb{S} \leftarrow$  structure initiale
configuration  $\leftarrow$  configuration initiale
 $k \leftarrow 0$ 
 $k_{max} \leftarrow 1000$ 
while  $k < k_{max}$  do
  initialisation étape évolution (ii)
  for all acteur  $a$  do
    perception( $\mathbb{S}$ , configuration) (iii)
    sélection_modification() (iii)
  end for
  for all acteur  $a$  do
     $\mathbb{S} \leftarrow$  application_modification()
  end for
  configuration  $\leftarrow$  régulation()
   $k++$ 
end while
```

---

Il s'agit toujours d'un cycle perception-décision-action, où l'acteur perçoit la configuration dans laquelle s'est régulée l'organisation et l'action consiste à modifier sa structure. Nous présenterons différentes variantes de la réalisation des étapes (i), (ii) et (iii) de l'algorithme 3.

Nous avons indiqué au chapitre cinq qu'il serait possible que le processus de régulation au sein d'une organisation se déroule conformément à notre algorithme de simulation de la régulation, que cet algorithme pourrait mimer ce processus. Ce n'est pas le cas ici, compte tenu du coût et du risque de toute modification de la structure d'une organisation, qui est plus ou moins irréversible à la différence d'un changement de comportement. Par contre, nous pouvons envisager que les algorithmes présentés dans cette section décrivent les « expériences de pensée » que les acteurs réalisent avant d'entreprendre une modification effective de la structure de l'organisation.

Les paramètres structurels qui vont être modifiés par les acteurs sont les enjeux. Deux types

d'action ont successivement été étudiées, de manière indépendante : la modification par un acteur de ses propres enjeux et la modification des enjeux des autres.

### 8.3.2 Caractérisation de la perception et de l'action des acteurs

Les éléments dont dispose un acteur pour déterminer l'action à entreprendre lors d'un cycle de simulation sont les suivants :

- La satisfaction obtenue dans la structure au pas précédent ;
- L'action (modification structurelle) effectuée sur la structure au pas précédent ;
- La satisfaction obtenue à l'issue de la régulation dans la structure courante ;
- La position de l'acteur (la distribution de ses enjeux, les impacts des relations dont il dépend).

Les actions sont limitées à certaines modifications des enjeux : un acteur ne peut ni s'affranchir d'une relation dont il dépend, ni dépendre d'une relation dont il ne dépendait pas initialement.

### 8.3.3 Approche préliminaire : répartition aléatoire des enjeux

Dans une première version, les distributions sont tirées selon une loi aléatoire de répartition uniforme selon l'algorithme 4 :

---

**Algorithm 4** Pseudo-code de l'algorithme de simulation de l'évolution par tirage aléatoire [Cazabet, 2009]

---

```
//initialisation évolution
S ← structure initiale
k ← 0
kmax ← 1000
configuration ← configuration initiale
for all acteur a do
    satisfaction de référence ←  $-\infty$ 
    distribution de référence ← distribution initiale
end for
while  $k < k_{max}$  do
    // initialisation étape évolution
    distribution de référence ← distribution aléatoire
    for all acteur a do
        if satisfaction(S,configuration) > satisfaction de référence then
            distribution de référence ← distribution courante
            satisfaction de référence ← satisfaction(S,configuration)
        end if
    end for
    for all acteur a do
        S ← application_modification()
    end for
    configuration ← régulation()
    k++
end while
```

---

### Contrainte de normalisation à 10 des enjeux

La somme de la distribution d'enjeux d'un acteur doit être égale à 10 : on préserve l'hypothèse que les acteurs ont le même investissement dans le jeu social. Pour garantir cette propriété lorsqu'on tire aléatoirement la distribution, nous donnons ci-dessous le pseudo-code de l'algorithme mis au point par Vu Quang Anh Nguyen lors d'un stage de Master 2 [Nguyen, 2007].

Pour cet algorithme, on pose les notations suivantes :

- *enjeu<sub>i</sub>* est l'enjeu posé par un acteur sur la relation *i* ;

- Chaque  $enjeu_i$  est compris entre deux bornes :  $enjeu_{iMin} < enjeu_i < enjeu_{iMax}$  ;
- La valeur de la somme des  $enjeu_i$  est notée  $S$ , (ici  $S = 10$ ) ;
- La fonction  $rand(a, b)$  renvoie un nombre aléatoire entre  $a$  et  $b$ .

---

**Algorithm 5** Pseudo-code de l'algorithme de normalisation à 10 de la somme des enjeux [Nguyen, 2007]

---

```

n ← nombre de relations dont dépend l'acteur
for i = 0 ; i < n ; i ++ do
  if i ≠ n-1 then
     $enjeu_i \leftarrow rand(max\{a_{iMin}, S - \sum_{j=0}^{i-1} enjeu_j - \sum_{j=i+1}^n enjeu_{jMax}\}, min\{enjeu_{iMax}, S - \sum_{j=0}^{i-1} enjeu_j - \sum_{j=i+1}^n enjeu_{jMin}\})$ 
    Sauvegarder ( $enjeu_i$ )
  else
     $enjeu_n \leftarrow S - \sum_{j=0}^{n-1} enjeu_j$ 
  end if
end for

```

---

## Mise en application

Cet algorithme a été testé sur deux exemples d'organisations bien maîtrisées : le dilemme du prisonnier à deux acteurs et le cas Bolet, en utilisant différentes répartitions initiales des enjeux et différentes valeurs du taux de variation des enjeux. Les résultats montrent que la tendance globale des acteurs est d'augmenter l'enjeu des relations qu'ils contrôlent, ce qui augmente leur autosatisfaction. Cependant, dans certains cas, cette rationalité simpliste ne parvient pas à s'extirper des maxima locaux que la structure initiale de l'organisation peut présenter. Nous allons mettre ce phénomène en évidence dans le cas d'une organisation minimale à deux acteurs et deux relations, et qui, selon la répartition d'enjeux des acteurs peut présenter plusieurs propriétés, dont celle de présenter un maximum local de satisfaction.

### Un modèle d'organisation minimale symétrique à deux acteurs

Considérons une organisation simple, constituée de deux acteurs  $act1$  et  $act2$  contrôlant respectivement les relations  $rel1$  et  $rel2$  et qui posent le même enjeu sur la relation qu'ils contrôlent.

Nous considérons dans un premier temps que les fonctions d'effets sont doublement symétriques :

- les fonctions d'effets de la relation que chacun contrôle sont identiques :  $effet(act1, rel1, e) = effet(act2, rel2, e)$
- les fonctions d'effets de la relation dont chacun dépend sont identiques :  $effet(act1, rel2, e) = effet(act2, rel1, e)$
- les fonctions d'effets de la relation que chacun contrôle est l'opposée de la fonction d'effet de celui qui en dépend :  $effet(act1, rel1, e) = -effet(act2, rel1, e)$

Les fonctions d'effets choisies sont des bissectrices, comme présenté figure 8.7.

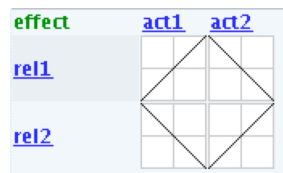


FIGURE 8.7 – Fonctions d'effets du jeu simple à deux acteurs

Selon la répartition d'enjeux sur les relations, la coopération peut être très facile ou au contraire impossible à établir dans ce jeu simple.



### Un jeu dont la régulation converge vers la configuration de Nash

Si les acteurs posent la majeure partie (i.e. dans ce cas plus de 5 points) de leurs enjeux sur la relation qu'ils contrôlent, chaque acteur obtient plus d'impact de la relation qu'il contrôle que de celle dont il dépend, et le jeu se régule systématiquement dans la configuration qui maximise leur auto-satisfaction. Étant donnée la forme des fonctions d'effets, cette configuration est l'équilibre de Nash  $e_{Nash} = (10, 10)$ .

	<i>rel1</i>	<i>rel2</i>
<i>act1</i>	7	3
<i>act2</i>	3	7

TABLE 8.1 – Exemple de répartition des enjeux des acteurs *act1* et *act2* sur *rel1* et *rel2* qui produit un jeu convergeant vers une configuration de Nash

### Un jeu à somme nulle

Si les acteurs posent autant d'enjeux sur les deux relations, ce jeu est alors un jeu à somme nulle, ou chaque action qui avantage l'un désavantage l'autre d'autant.

	<i>rel1</i>	<i>rel2</i>
<i>act1</i>	5	5
<i>act2</i>	5	5

TABLE 8.2 – Répartition des enjeux qui produit un jeu à somme nulle

Il n'y a aucun *bénéfice transactionnel* qui pourrait inciter les acteurs à une coopération mutuellement profitable. On peut facilement vérifier que, quelque soit l'état du jeu, un acteur qui agit de  $\Delta e$  sur l'état de la relation qu'il contrôle provoque des variations opposées des impacts sur les deux acteurs : ce que gagne l'un est perdu par l'autre. Dans ce type de jeu, l'algorithme de simulation de la régulation des comportements converge très difficilement, chaque tentative de l'un des acteurs pouvant être contrée par l'autre.

### Un jeu de type dilemme du prisonnier

Lorsque les acteurs posent la majeure partie de leurs enjeux sur la relation que contrôle l'autre, le jeu devient un dilemme du prisonnier. En effet, c'est un jeu symétrique à deux acteurs, et la situation d'un joueur dépend plus du comportement de l'autre que du sien propre : la coopération est récompensée, mais suppose, pour s'établir, que les acteurs aient «confiance» l'un en l'autre.

	<i>rel1</i>	<i>rel2</i>
<i>act1</i>	3	7
<i>act2</i>	7	3

TABLE 8.3 – Exemple de répartition des enjeux qui produit un jeu semblable au dilemme du prisonnier.

Avec la distribution d'enjeux présentée dans le tableau 8.4, l'impact maximum de la relation qu'un acteur ne contrôle pas est plus du double de l'autosatisfaction qu'il peut s'octroyer (70 contre 30). La simulation de la régulation converge systématiquement dans la configuration de satisfaction globale maximale,  $e_{DP} = (-10, -10)$ .

On voit avec ces trois exemples de jeu symétrique que la distribution d'enjeux a une influence certaine sur le résultat des régulations. En particulier, du fait de la symétrie des fonctions d'effets, les satisfactions maximales des acteurs sont identiques dans le jeu qui converge vers une configuration de Nash et le jeu de type dilemme du prisonnier.

Dans le cas où la distribution est celle du tableau 8.1, la satisfaction globale maximale est obtenue dans la configuration  $e_{Nash} = (1, 1)$ , et dans le cas de la distribution du tableau 8.4, la satisfaction

globale maximale est obtenue dans la configuration  $e_{DP} = (-10, -10)$ . Dans les deux cas, la satisfaction qu'obtiennent les acteurs dans ces configurations est de 40 (70 - 30).

Jusqu'à présent, les relations de ce jeu avaient la même *force*. Nous allons maintenant réduire l'amplitude de la fonction d'effet des relations que les acteurs ne contrôlent pas. Cela a pour effet de produire un maximum local dans l'espace des satisfactions des acteurs.

### Un modèle d'organisation symétrique à deux acteurs présentant un maximum local de satisfaction

Considérons maintenant l'organisation à deux acteurs semblable à la précédente, mais avec les fonctions d'effets de la figure 8.8.

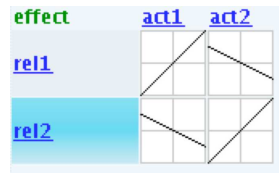


FIGURE 8.8 – Fonctions d'effets d'un jeu à deux acteurs qui présente un maximum local

Par rapport à l'organisation précédente, la force de la relation que les acteurs ne contrôlent pas est réduite de moitié (elle passe de 20 à 10). La distribution initiale des enjeux est la suivante :

	<i>rel1</i>	<i>rel2</i>
<i>act1</i>	2	8
<i>act2</i>	8	2

TABLE 8.4 – Répartition initiale des enjeux dans le cas du jeu à maximum local.

Étant donnée la plus faible amplitude des fonctions d'effets des relations que les acteurs ne contrôlent pas, les acteurs auraient fortement intérêt à redistribuer leurs enjeux de façon à mettre la majorité sur la relation qu'ils contrôlent, deux fois plus «rentable».

Suivant cette répartition, la satisfaction maximale des deux acteurs est atteinte pour l'état -10 des deux relations.

Lorsque l'on observe comment *act1* par exemple fait évoluer l'enjeu qu'il pose sur *rel1* (voir figure 8.9), on voit qu'il ne s'éloigne pas de la répartition initiale. Ils ne parviennent pas à inverser leur distribution d'enjeux car lorsqu'ils testent des solutions consistant à augmenter l'enjeu de la relation qu'ils contrôlent, leur valeur de satisfaction diminue.

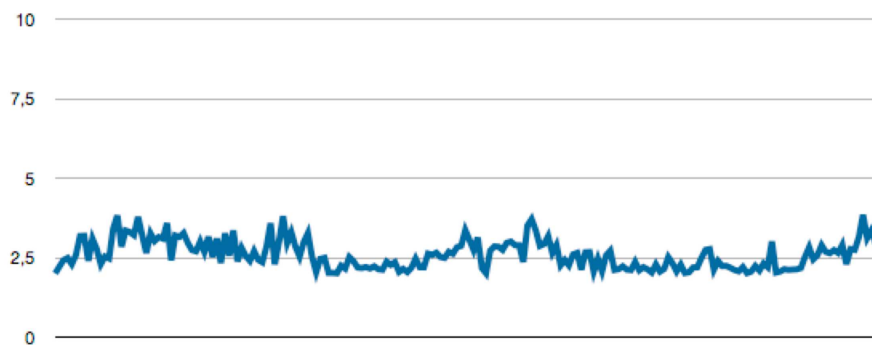


FIGURE 8.9 – Évolution de l'enjeu posé par *act1* sur *rel1*

Le problème réside dans le fait que pour atteindre cette distribution, *act1* doit passer par des distribution intermédiaires moins intéressantes. Partons de la distribution initiale d'enjeux de *act1*,

(2,8). Avec cette distribution, et du fait de la symétrie du jeu, chaque acteur a intérêt à placer l'état de la relation qu'il contrôle à -10. Il en résulte une satisfaction de  $2 * (-10) + 8 * 5 = 20$  pour *act1*. Supposons *act1* décide de modifier sa distribution en augmentant l'enjeu posé sur *rel2* et en modifiant sa distribution en (4,6) par exemple. *rel1* devient alors plus rentable que *rel2* aux yeux de *act1* : l'impact maximal qu'elle procure est de 40, contre 20 pour la distribution initiale, et *act1* contrôle *rel1* : cela le conduit à fixer l'état de *rel1* à 10.

Avec cette nouvelle répartition, la satisfaction maximale que peut espérer *act1* dépend de l'état de *rel2*, fixé par *act2* :

- si l'état de *rel2* vaut -10, *act1* reçoit une satisfaction de  $4 * 10 + 5 * 6 = 70$
- si l'état de *rel2* vaut 10, *act1* reçoit une satisfaction de  $4 * 10 - 5 * 6 = 10$

Pour *act2* qui dépend majoritairement de *rel1*, le changement de l'état de *rel1* est très pénalisant : l'impact de *rel1* sur *act2* est de -80. Pour compenser cette baisse de satisfaction, il n'a pas d'autre choix que celui de placer l'état de *rel2* à 10.

Le changement de la distribution d'enjeux d'*act1* a donc une conséquence sur la configuration régulée : elle passe de (-10,-10) à (10,10). La satisfaction de *act1* est alors moindre que dans la distribution initiale. Pour augmenter sa satisfaction, *act1* doit placer encore plus d'enjeu sur la relation qu'il contrôle, plus rentable. Il pourrait par exemple choisir la distribution inverse de la distribution initiale : (8,2). Avec cette distribution, il obtiendrait une satisfaction de  $8 * 10 - 5 * 2 = 70$ , supérieure à celle qu'il obtenait dans la distribution initiale. Cependant, il aura dû pour cela passer par une distribution intermédiaire qui lui procure une satisfaction plus faible que celle obtenue dans la distribution initiale : il s'agit d'un maximum local de la satisfaction que peut obtenir *act1*, dans l'espace des distributions d'enjeux.

Or, dans cette approche préliminaire, le taux d'exploration n'est pas pris en compte et toute modification de la distribution d'enjeux qui ne se solde pas par une amélioration de la satisfaction de l'acteur est rejetée. Nous allons tenter de résoudre ce problème en faisant appel à une métaheuristique de recherche d'optimum global : le recuit simulé.

### 8.3.4 Approche par recuit simulé

#### Principe de l'algorithme

L'approche par recuit simulé a été préférée à d'autres (recherche tabou, algorithme génétique, ...), notamment pour la possibilité de contrôler la recherche de l'optimum par des paramètres qui permettent d'établir un compromis entre le temps d'exécution et la finesse de l'exploration de l'espace de recherche. Le recuit simulé est une méta-heuristique de recherche inspirée d'un procédé de la métallurgie qui, transposé dans le domaine de l'optimisation, permet de déterminer les extrema d'une fonction.

Les points de l'espace de recherche sont vus comme les états d'un système physique, et la fonction à minimiser est vue comme l'énergie interne du système. L'objectif est d'amener le système à l'état de plus basse énergie.

Dans notre cas, on cherche à maximiser la satisfaction obtenue pour une certaine distribution d'enjeux : les états de l'espace de recherche sont les distributions  $\delta$  d'enjeux, et la fonction d'énergie à minimiser est l'écart entre la satisfaction obtenue à régulation de l'organisation et la *satisfaction maximale possible*.

$$E(\delta) = Satis(\delta, e_{régulé}) - Satis_{max\ possible}$$

La satisfaction maximale possible est un majorant de l'espace des satisfactions : c'est la valeur maximale de la satisfaction pour toutes les distributions  $\delta$  d'enjeux et tous les états  $e$  de l'organisation.

$$Satis_{max\ possible}(a) = \max_{\delta}(\max_{e \in EC^m} Satis(a, e))$$

A chaque itération, on évalue des points de l'espace de recherche qui environnent le point courant. La transition entre l'état courant et un état de son voisinage est effectuée selon une certaine probabilité  $P$ , fonction de la *température du système*  $T$  et de l'écart d'énergie entre l'état courant  $\delta$  et l'état candidat du voisinage  $\delta'$ .

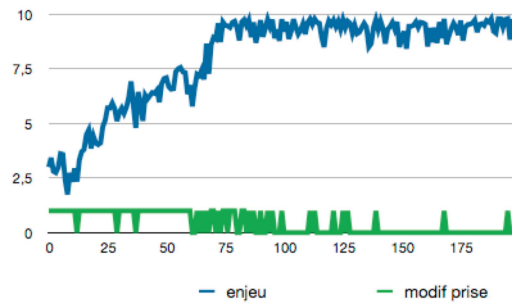


FIGURE 8.10 – Évolution de l'enjeu placé par un acteur sur la relation qu'il contrôle, lorsqu'il utilise le recuit simulé

La loi de probabilité choisie doit respecter plusieurs critères. Tout d'abord, la probabilité d'accepter un état voisin est fonction de la «qualité» du candidat : elle est augmentée quand l'état candidat est un état de moindre énergie et décroît quand l'état voisin a une énergie plus élevée.

La température est utilisée comme variable de contrôle externe. Si  $T$  est élevée, les voisins ont à peu près la même probabilité d'être choisis (plus précisément, seuls des écarts significatifs d'énergie affectent la valeur de la probabilité). Si  $T$  est faible, la probabilité est sensible à des variations d'énergie plus fines. La température varie au cours de la recherche :  $T$  est élevée au début, puis diminue (le système «refroidit»), à une vitesse qui dépend d'un paramètre  $\lambda \in ]0, 1[$ .

La loi de probabilité est la suivante :

$$P(T, E(\delta), E(\delta')) = e^{\frac{E(\delta) - E(\delta')}{T}}$$

Dans notre cas, implanter l'algorithme de recuit simulé consiste à modifier la condition d'application d'une distribution : dans l'algorithme précédent, une redistribution n'était gardée que si la satisfaction qui en résulte était meilleure que la satisfaction de référence mémorisée. Avec le recuit simulé, toute redistribution a une probabilité d'être choisie, même si elle ne semble pas intéressante. Partant d'une distribution initiale  $\delta$  de ses enjeux, chaque acteur la modifie en  $\delta'$  puis calcule l'écart entre la satisfaction qu'il obtient et la satisfaction maximale.

Si on accepte une distribution qui améliore le critère, on tend ainsi à chercher l'optimum dans le voisinage de la distribution précédente. Si on accepte une « mauvaise » distribution, on explore une autre partie de l'espace des solutions, ce qui évite de rester dans un optimum local. En pratique, l'espace des solutions possibles pouvant être colossal, on borne le nombre d'itérations de l'algorithme par une valeur  $k_{max}$ .

L'algorithme 6 présente la recherche par recuit simulé.

## Application du recuit simulé au jeu présentant un maximum local

Rappelons que dans le jeu comportant un maximum local, les fonctions d'effets sont celles de la figure 8.8, et que la distribution d'enjeux initial est telle que chaque acteur pose la majorité de ses enjeux sur la relation la moins «rentable», qu'il ne contrôle pas.

L'algorithme de recuit simulé permet de s'extraire du maximum local et de trouver finalement les distributions d'enjeux intéressantes : celles où la majeure partie des enjeux des acteurs sont placés sur la relation qu'ils contrôlent. La figure 8.10) montre la variation de la distribution d'enjeu de l'un des acteurs au cours d'une simulation.

Cette tendance se retrouve dans les expérimentations entreprises sur des modèles plus complexes (4 acteurs et 6 relations par exemple) : si le recuit simulé est correctement paramétré pour explorer une bonne partie de l'espace des états, les acteurs concentrent leurs enjeux sur la relation de plus grand force qu'ils contrôlent .

---

**Algorithm 6** Pseudo-code de l'algorithme par recuit simulé

---

```
//initialisation évolution
 $\mathbb{S} \leftarrow$  structure initiale
configuration  $\leftarrow$  configuration initiale
 $T \leftarrow$  température initiale
for all acteur  $a$  do
     $\delta \leftarrow \delta_0$  Distribution initiale
     $E \leftarrow Satis_{max\ possible}(a) - Satis(\delta, a, configuration)$ 
     $\delta_{optimal} \leftarrow \delta$  //initialisation de la distribution résultat
     $E_{min} \leftarrow E$  //initialisation de l'énergie la plus basse obtenue
end for
 $\lambda \leftarrow 0.9$ 
 $k \leftarrow 0$ 
 $k_{max} \leftarrow 1000$ 
while  $k < k_{max}$  do
    //initialisation étape évolution
     $T \leftarrow \lambda T$ 
    for all acteur  $a$  do
         $\delta' \leftarrow voisinage(\delta)$ 
         $E' \leftarrow Satis_{max\ possible} - Satis(\delta', configuration)$ 
        if  $random() < e^{\frac{\Delta E}{T}}$  then
             $E \leftarrow E'$ 
             $\delta \leftarrow \delta'$ 
        end if
        if  $E' < E_{min}$  then
             $\delta_{optimal} \leftarrow \delta$ 
             $E_{min} \leftarrow E'$ 
        end if
    end for
    for all acteur  $a$  do
         $\mathbb{S} \leftarrow application\_modification(\delta_{optimal})$ 
    end for
    configuration  $\leftarrow$  régulation()
     $k++$ 
end while
```

---

### Contraintes sur la redistribution des enjeux

L'algorithme de simulation de la redistribution des enjeux doit respecter les contraintes que nous avons posés sur les valeurs des enjeux. Tout d'abord si l'on souhaite que l'évolution de l'organisation ne modifie pas l'ensemble des relations dont chaque acteur dépend, il faut que chaque enjeu initialement non nul le reste dans les distributions que l'algorithme teste. Or, dans les faits, certains enjeux sont ramenés à des valeurs tellement faibles que leur effet sur la satisfaction devient négligeable. Il faut donc borner la valeur minimale d'un enjeu à 0.5, qui est la plus petite valeur que l'on peut donner à un enjeu non nul lors de l'édition d'une structure organisationnelle dans SocLab.

L'autre problème que pose le recuit simulé est que les acteurs ont tendance à mettre tous leurs enjeux sur une seule relation, celle qui leur est le plus favorable. Si cette tendance est trop marquée, il peut en résulter un désengagement du jeu social, une sur-simplification de l'organisation qui affaiblit l'interdépendance des acteurs dans l'accès aux ressources, caractéristique de l'action organisée. Il faut donc fixer une borne maximale à l'enjeu attribué aux relations. On pourra par exemple limiter à 7 la quantité d'enjeu sur les relations contrôlées par l'acteur, et de même pour les relations non contrôlées.

## Limites de l'approche par recuit simulé

Sur des exemples simples d'organisation à deux acteurs, le recuit simulé produit de bons résultats (i.e. il parvient à s'extraire des maxima locaux). Par contre, son efficacité sur des organisations à la structure plus complexe semble assez limitée, l'amélioration des satisfactions obtenues par les acteurs étant très variable.

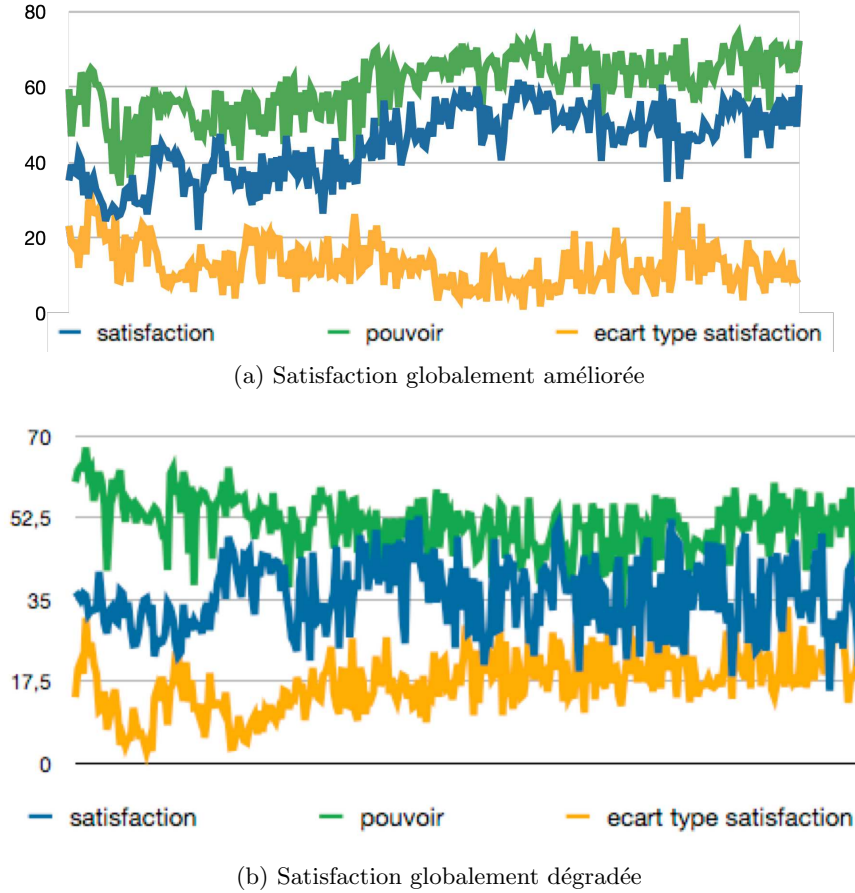


FIGURE 8.11 – Deux exemples de résultats du recuit simulé d'une simulation effectuée sur le cas Bolet.

Le problème vient de ce que le recuit simulé suppose que le domaine de valeur de la fonction d'évaluation de l'état du système reste stable, ce qui n'est pas le cas ici : du fait des redistributions d'enjeux réalisées par les acteurs, la définition de la fonction de satisfaction est modifiée.

L'ensemble des états qu'explore le recuit simulé résulte du produit cartésien de l'ensemble des structures  $\mathbb{S}$ , à savoir l'ensemble des distributions d'enjeux des acteurs, et l'ensemble des configurations :

$$etats \in \prod_{r \in R} EC_r \times [0; 10]^{Card(\mathbb{A}) * Card(R)}$$

La fonction que le recuit doit minimiser est l'écart entre le majorant des satisfaction est la satisfaction obtenue dans la configuration régulée. Or les enjeux interviennent dans le calcul de la satisfaction obtenue à régulation, c'est pourquoi une distribution jugée avantageuse à un moment par un acteur, ne l'est plus si les autres ont modifié leurs enjeux au point que le système se régule dans une configuration éloignée, rendant caduque la satisfaction de référence. Le recuit simulé n'est donc pas une approche bien adaptée à notre problème : il entreprend des modifications de structure qu'il évalue avec des indicateurs situés, sensibles à la régulation, et l'action conjointe des acteurs complique d'autant la sélection de la distribution pour un acteur. Cela nous amène à essayer une autre approche, similaire à celle employée pour la régulation, basée sur l'apprentissage de règles.

### 8.3.5 Approche par apprentissage

Dans cette approche, les étapes de perception et de sélection de la modification sont réalisées avec la même technique que celle utilisée pour la régulation, que nous avons présentée au chapitre 5 (dans une version plus basique, c'est-à-dire sans intégrer le mécanisme de l'ambition).

Notons que le problème de la dynamique du système, qui rendait l'efficacité du recuit simulé incertaine, ne se pose plus : Comparer la satisfaction obtenue à l'itération  $i$  avec la distribution d'enjeu  $\delta$  dans la structure  $\mathbb{S}$  et la satisfaction obtenue à l'étape  $i + 1$  avec la distribution  $\delta'$  dans une structure  $\mathbb{S}'$  différente ne pose pas de problème, car la satisfaction ne dépend que des distributions  $\delta$  et  $\delta'$  et des états régulés qui en résulte, et non plus d'une satisfaction maximum utilisée quelque soit la structure.

L'algorithme 7 indique le déroulement de la simulation. Une règle est un triplet (*position*, *action*, *force*) comme dans l'algorithme de régulation, mais l'action porte sur une modification de la répartition des enjeux de l'acteur.

---

**Algorithm 7** Pseudo-code de l'algorithme à base de règles

---

```
//initialisation évolution
 $\mathbb{S} \leftarrow$  structure initiale
configuration  $\leftarrow$  configuration initiale
 $k \leftarrow 0$ 
 $k_{max} \leftarrow 1000$ 
while  $k < k_{max}$  do
  for all acteur  $a$  do
    if  $Satis(configuration) > Satis_{reference}$  then
       $Satis_{reference} \leftarrow Satis(configuration)$ 
      if il existe une règle applicable dans ce contexte then
        règle à appliquer  $\leftarrow$  règle applicable
        Renforcer la règle précédente
      else
        Créer une règle
      end if
    else
      Créer une règle
    end if
    Oublier les règles inefficaces
  end for
  for all acteur  $a$  do
     $\mathbb{S} \leftarrow$  application_modification(règle à appliquer)
    règle précédente  $\leftarrow$  règle à appliquer
  end for
  configuration  $\leftarrow$  régulation()
   $k++$ 
end while
```

---

Un acteur sélectionne une règle en fonction de la distance euclidienne entre l'attribut *position* de la règle et sa position courante, où la *position* de l'acteur (cf section 8.2.1) est constituée de la situation et de la structure dans laquelle il se trouve :

$$pos(a) = (\mathbb{S}, S)$$

Une règle est applicable si la distance entre la position de la règle et la position actuelle de l'acteur est inférieure à un certain seuil. Il faut donc appliquer un double calcul : une règle sera considérée comme applicable si la distance entre sa configuration et la configuration actuelle ainsi que la distance entre sa distribution et la distribution actuelle sont chacune inférieure à un seuil.

L'attribut *action* d'une règle est une liste des modifications des enjeux à effectuer. L'application de toute action doit respecter les trois contraintes déjà évoquées :

- La somme des points d'enjeux doit être égale à 10 ;
- La somme des enjeux sur les relations contrôlées par l'acteur doit être supérieure à 3 et ne pas excéder 7 ;
- L'enjeu posé sur une relation ne peut pas être inférieur à 0.5.

Ces contraintes doivent être respectées par la façon dont les actions des règles sont générées. Nous présentons ci-dessous les différentes variantes testées dans [Cazabet, 2009].

### **Modification d'un seul enjeu et répartition de la différence sur les autres enjeux**

Dans cette variante, il s'agit de modifier aléatoirement la valeur de l'enjeu d'une relation, et de répartir la modification sur les enjeux des autres relations. De cette manière, il y a une seule modification « importante », pour laquelle on espère avoir un effet sensible sur la régulation suivante ; les autres modifications étant réparties, elles sont moins perceptibles, dans le cas (général) où il y a plus de deux relations.

L'efficacité constatée de cette technique de modification s'avère être en-dessous de celle du recuit simulé. Cela provient du fait que, lorsqu'une modification s'avère être efficace, elle est aussitôt réappliquée, éventuellement plusieurs fois de suite. Les contraintes assez fortes sur les valeurs d'enjeux font qu'on atteint très vite les distributions « limites » (un enjeu très élevé sur une relation, les autres les plus petits possible), où plus aucune modification n'est applicable sans violer l'une des contraintes.

### **Modifications de deux enjeux selon le principe des vases communicants**

Cette variante consiste à tirer aléatoirement deux enjeux, à modifier aléatoirement l'un des deux, et à reporter sur l'autre la modification. Si cette méthode produit de meilleurs résultats que la précédente, le problème d'épuisement rapide des règles applicables est toujours présent.

### **Répartition « au mieux » des enjeux**

L'attribut *action* d'une règle se compose dans ce cas d'un vecteur de modifications à appliquer aux enjeux d'un acteur. Dans ce vecteur, toutes les modifications ne sont pas forcément compatibles avec les contraintes.

Le principe de cette variante est donc d'appliquer une règle « au mieux », c'est-à-dire de réaliser les modifications qui peuvent l'être, puis de répartir l'« excès » des modifications sur les autres enjeux.

Si les contraintes sont bien respectées, cela introduit tout de même un biais dans le système de règles puisque les modifications des enjeux de l'attribut *action* de la règle ne sont pas celles qui sont effectivement appliquées. Les règles étant renforcées selon leur efficacité en terme d'amélioration de la satisfaction, il est impossible de déterminer ce qui de l'action originale, telle que générée mais inapplicable, ou de la répartition de l'« excès » est à l'origine de l'amélioration et mérite d'être rétribué.

Pourtant, les expérimentations menées avec cette variante montrent que ses avantages (pouvoir toujours appliquer les règles) compensent largement ses limites. Les résultats sont meilleurs avec cette variante qu'avec toutes les autres, et dépassent ceux de l'approche par recuit simulé.

Si les résultats des deux approches sont souvent assez semblables en termes de répartitions d'enjeux, la solution par système de règles donne des résultats plus réguliers et parvient mieux à « optimiser » les résultats ; par exemple, un enjeu (qui doit être le plus haut possible pour avantager un acteur) sera amené à 7 avec le système de règles alors qu'avec le recuit simulé il ne le sera qu'à 6,5.

A titre d'exemple, la figure 8.12 montre l'évolution de la satisfaction moyenne des acteurs lors de simulations utilisant le recuit simulé (figure 8.12a) et le système de règles (figure 8.12b). Généralement, le recuit simulé produit des courbes assez progressives : la satisfaction oscille d'abord, puis augmente, et enfin tend à se stabiliser autour d'une valeur assez haute. Pour le système de règles, au contraire, les valeurs continuent à osciller, les acteurs sont en redistribution permanente, et des états de coopération sont atteints de façon périodique.

Mentionnons deux limites à l'approche par système de règles, qui, à défaut d'expliquer la présence d'oscillations, donnent des pistes pour la réduire. D'une part, à la différence de l'algorithme de régulation des comportements du chapitre cinq et du mécanisme d'*ambition* de l'acteur, cet algorithme ne tient pas compte du taux d'exploration/exploitation de la recherche dans l'espace des solutions (ce que fait la température dans le recuit simulé). Les altérations des distributions d'enjeux peuvent alors



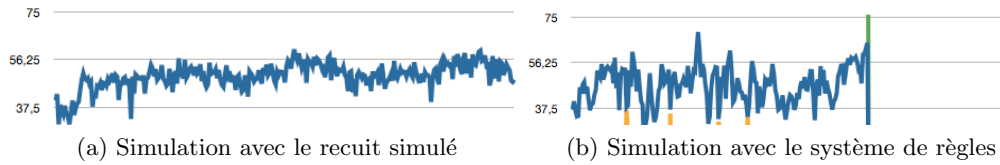


FIGURE 8.12 – Comparaisons des deux approches pour une simulation type

s'affiner au fur et à mesure de la simulation, et ne pas remettre en question les positions des acteurs à chaque pas. D'autre part, nous n'avons pas de critère permettant d'évaluer la stabilisation de la structure, qui pourrait indiquer quand on peut s'arrêter. Palier ces deux limites n'a pas été abordé dans ce travail.

### 8.3.6 Approche par des acteurs utilisant davantage d'information

Une autre approche consiste à affiner la sélection de l'action des acteurs en leur permettant de prendre en compte non plus la satisfaction correspondant à la situation résultant de la distribution des enjeux, mais le vecteur d'impacts de cette situation, de façon à mieux cibler les modifications d'enjeux. Le principe est alors d'augmenter les enjeux sur les relations qui procurent un fort impact et de baisser l'enjeu posé sur les relations d'impact plus faible.

Cet algorithme d'apprentissage n'est pas réglé par le taux d'exploration de l'espace d'apprentissage, et peut donc se révéler inefficace face aux maxima locaux. En effet, une fois que les acteurs ont trouvé une bonne solution avec ce mécanisme, ils ne pourront pas en trouver d'autres, et resteront sur une solution potentiellement sous-optimale qui sera largement dépendante de la répartition initiale des enjeux. Pour contourner ce problème, un mécanisme de «bascule» des enjeux peut être appliqué lorsqu'on atteint un maximum local. Il consiste à inverser les valeurs de deux enjeux proches des valeurs extrêmes. Par exemple, lorsqu'une distribution d'enjeux est de  $\{7, 2, 1\}$ , on la transforme en  $\{1, 2, 7\}$ , puis on laisse les acteurs chercher un nouveau maximum local et ainsi de suite.

Les résultats de cette approche alternative sont encourageants : la solution optimale est trouvée sur tous les cas simples de dilemme du prisonnier, et supérieure à celle des autres approches sur le cas Bolet.

Cependant, cette technique de «bascule» reste à valider du point de vue de sa plausibilité sociologique : l'enjeu modélise l'importance des ressources sous-jacentes à la relation pour l'action de l'acteur, et ne devrait pas évoluer brusquement. De ce fait une inversion radicale et instantanée des enjeux est peu probable. On s'attend au contraire à ce qu'un acteur se désintéresse ou s'intéresse à une relation progressivement.

### 8.3.7 Modification des enjeux des autres acteurs

Jusqu'à présent, nous avons considéré la modification simultanée par les acteurs de leur propres enjeux. Cela permet aux acteurs d'améliorer leurs satisfactions, et donc la satisfaction globale de l'organisation. L'hypothèse qu'un acteur puisse changer ses propres enjeux est assez forte : si certains enjeux sont subjectifs et modélisent l'importance estimée d'une relation, d'autres, au contraire, représentent une réelle nécessité pour l'acteur d'avoir accès à des ressources, non négociable du fait de son rôle dans l'organisation, et qu'il ne peut donc pas compenser par des bons impacts sur d'autres relations. La simulation de la modification des propres enjeux des acteurs trouve ici ses limites, si elle conduit à des distributions trop éloignées de celles constatées dans l'organisation réelle.

En revanche, un acteur peut toujours agir de façon à augmenter la pertinence des relations qu'il contrôle, de façon à augmenter son pouvoir, à affermir sa prise sur le système en se rendant indispensable. Il est donc intéressant d'examiner ce que donne la simulation de telles modifications, plus plausibles sociologiquement car elles correspondent à une visée stratégique : modifier la représentation que les autres acteurs se font du jeu social.

Les contraintes sur les valeurs d'enjeux devant être respectées, la modification par un acteur de l'enjeu que posent d'autres acteurs sur une relation qu'il contrôle a des effets de bords. Lorsqu'un acteur augmente les enjeux que posent les autres sur une relation qu'il contrôle, leurs distributions doivent respecter les contraintes. Comme plusieurs acteurs  $b_i$  peuvent augmenter la pertinence des relations qu'ils contrôlent, la distribution d'un acteur  $a$  est modifiée de plusieurs façons : par l'action des acteurs  $b_i$ , qui vont augmenter l'enjeu des relations dont  $a$  dépend, mais également par les mécanismes qui s'assurent que la distribution d'enjeux de  $a$  respectent les contraintes.

L'approche retenue pour ce nouveau type de simulation est la répartition «au mieux» des enjeux. La composante *position* d'une règle de la base d'un acteur est constituée de la distribution d'enjeux des autres acteurs sur les relations que l'acteur contrôle.

Dans les approches précédentes, lorsque les acteurs modifiaient leur propres enjeux, la tendance constatée était que les acteurs concentraient leurs enjeux sur les relations qu'ils contrôlaient. Ici, sur les cas simples, c'est la tendance inverse qui est observée : en fin de simulation, les acteurs ont posé beaucoup d'enjeux sur les relations dont ils dépendent, puisque l'action des autres tend à rendre un acteur plus dépendant. Malheureusement, sur une organisation plus complexe comme le cas Bolet, les résultats sont peu convaincants. Deux hypothèses peuvent être avancées pour expliquer cela.

D'une part, le fait que chaque acteur modifie les enjeux des autres entraîne qu'un grand nombre de modifications sont effectuées à chaque étape de simulation, ce qui entraîne un bruit important. L'action d'un acteur peut très bien avoir été compensée ou accentuée par l'action d'un autre. Il est donc difficile d'évaluer l'effet de son action. Sociologiquement, c'est assez cohérent : de trop nombreux changements organisationnels et une instabilité de la structure pénalisent le fonctionnement d'une organisation [Carley, 1998].

D'autre part, les modifications des enjeux des autres acteurs tendent à augmenter l'interdépendance des acteurs, puisque chacun essaye de se rendre indispensable par rapport aux autres. Il faudrait donc autoriser aux acteurs de modifier aussi leurs propres enjeux sur les relations qu'ils contrôlent, pour ne pas accentuer leur dépendance, et résister aux actions des autres.

La tendance qui se dégage de l'exploration des comportements d'acteurs qui modifient les enjeux des autres est la suivante : Les acteurs ne coopèrent pas s'ils n'ont pas une bonne raison de le faire, et pour un acteur, augmenter la pertinence de ses relations est un moyen de donner aux autres une bonne raison de coopérer avec lui. Cependant, cette stratégie ne sera efficace que si les autres acteurs ont à y gagner : pour négocier, il faut qu'il y ait matière à négocier, et un acteur qui retire plus de satisfaction des relations qu'il contrôle que des autres ne coopérera pas. Il faut donc que l'action de l'acteur qui entreprend de modifier la structure le fasse de façon à proposer aux autres une satisfaction plus intéressante que leur autosatisfaction.

A titre d'exemple, reprenons le cas de l'organisation simple à deux acteurs, *act1* et *act2* présentée en section 3.3. Supposons que la majeure partie des enjeux de *act1* (par exemple 8) soit posée sur la relation *rel2* contrôlée par *act2*, et que *act2* au contraire pose la majorité de ses enjeux sur la relation qu'il contrôle.

Cette répartition d'enjeux n'incite pas les acteurs à coopérer : *act2* n'a pas besoin, et donc n'a pas intérêt, à se comporter de façon coopérative avec *act1*, puisqu'il peut obtenir un impact important (80) de la relation qu'il contrôle. *act1* de son côté ne peut que subir le comportement de *act2* ; il n'a pas les moyens de négocier une modification du comportement de *act2* puisque la relation qu'il contrôle ne constitue pas un moyen de pression suffisant pour que *act2* change son comportement (son pouvoir maximum sur *act2* est de 20). Le seul recours de *act2* est donc de s'assurer le maximum possible sur la relation qu'il contrôle.

La seule façon pour *act1* d'avoir une bonne satisfaction est pourtant d'obtenir la coopération de *act2*. Pour cela, il doit augmenter son pouvoir sur *act2* en augmentant *enjeu(rel1, act2)* jusqu'à ce que *rel1* soit suffisamment importante pour *act2* pour qu'il ait intérêt à coopérer. La modification structurelle réalisée par *act1*, dans ce cas, correspond en fait à rendre positif et significatif l'*avantage transactionnel* de *act2* dans les configurations régulées.

Il ressort de cette étude qu'il est difficile d'évaluer l'effet d'une modification structurelle en em-

ployant le seul résultat (contextuel) des régulations. La perception par les acteurs des effets de leurs actions est inévitablement bruitée par l'action des autres, aussi bien dans sa dimension structurelle (la structure est modifiée par tous les acteurs) que contextuelle (les régulations aboutissent à des configurations différentes puisqu'elles se déroulent dans des structures différentes). En tout état de cause, il semble absolument indispensable que les acteurs disposent de davantage d'informations sur la structure du jeu pour le modifier à bon escient. Notamment, ces informations permettraient aux acteurs de mieux interpréter leurs positions et donc de réduire ce bruit.

Une autre limite des algorithmes présentés dans cette section est qu'ils permettent à tous les acteurs de l'organisation de modifier des enjeux, sans tenir compte des circonstances qui peuvent inciter un acteur à modifier la structure d'une organisation, à savoir des raisons qui le motivent et les moyens pour ce faire. Il faudrait donc que ces algorithmes dotent chaque acteur d'informations sur la structure et l'état du jeu lui permettant de déterminer s'il est pertinent qu'il s'engage dans la modification d'enjeux. A regarder de près, il semble que ce défaut soit à l'origine, ou du moins contribue, à la plupart des dysfonctionnements que nous avons relevés.

## 8.4 Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre des éléments sur la nature des modifications qu'un acteur pourrait apporter à la structure d'une organisation, sur les raisons qui pourraient l'inciter à (tenter d') entreprendre de telles modifications, et sur la façon dont ces modifications pourraient avoir lieu. Nous pensons que ces premiers éléments sont susceptibles de permettre de mieux comprendre certains aspects de l'évolution de la structure des organisations.

Les algorithmes que nous avons présentés dans la troisième section calculent une nouvelle structure organisationnelle, obtenue à partir de celle initiale par une redistribution des enjeux des acteurs sur les relations. Calculer par simulation les possibles évolutions de la structure d'une organisation soulève une question de vraisemblance de la rationalité des acteurs sociaux qui est incorporée dans l'algorithme. Nous avons déjà abordée cette question de vraisemblance à propos de la simulation de la régulation (cf. chapitre 5), mais elle se pose dans des termes assez différents concernant l'évolution.

Est-il envisageable (1) du point de vue des individus : qu'un acteur qui cherche à faire évoluer une organisation le fasse par essai-erreur et (2) du point de vue social : que l'évolution d'une organisation soit la résultante des tentatives dans ce sens des individus ? La réponse positive à (2) relève du cadrage général de l'individualisme méthodologique que nous avons adopté : dans le domaine du social, rien ne saurait se produire qui ne soit le fait des acteurs.

Par contre, que les acteurs procèdent par essai-erreur pour faire évoluer une organisation appelle plusieurs objections. Toute tentative de faire évoluer la structure d'une organisation nécessite un effort certain et comporte des risques, par exemple que d'autres acteurs réagissent négativement à cette tentative ou que le résultat de l'action soit contraire aux bénéfices escomptés. Il est donc raisonnable de penser qu'un acteur ne s'y engage pas de façon purement réactive, quasiment spontanée, mais de façon précautionneuse, après une délibération sur les chances de succès de l'entreprise, et non pas «pour voir», comme dans un processus d'apprentissage par essais-erreurs.

L'algorithme de simulation devrait donc comporter une phase *d'estimation de la pertinence* d'une telle entreprise. Cette phase devrait certainement mettre en œuvre des connaissances sur le fonctionnement des organisations acquises par d'autres moyens que l'expérience directe (observation, enseignement, etc.) et beaucoup plus abstraites et générales que celles contenues dans la bases de règles de notre algorithme, permettant à l'acteur notamment d'*anticiper* la configuration dans laquelle la nouvelle structure organisationnelle est susceptible de se réguler. Notre modèle des acteurs sociaux devrait donc être enrichi avec de telles connaissances, qui restent à identifier et à formaliser.

S'il est donc assez peu vraisemblable que les acteurs procèdent selon les algorithmes que nous avons présentés, les résultats qu'ils produisent n'en demeurent pas moins intéressants : ils permettent de calculer les évolutions d'une organisation qui pourraient améliorer la capacité d'action ou la satisfaction de ses membres.

## Chapitre 9

# Conclusion

### 9.1 Apports de la thèse

Les organisations, et plus généralement les systèmes d'action organisée, se présentent toujours à l'analyste sous la forme d'un SAC (Système d'Action Concret, selon la terminologie de la SAO), dans lequel la structure de l'organisation est actualisée par les comportements effectifs qu'adoptent ses acteurs. La structure de l'organisation, y compris les représentations et visées stratégiques des acteurs, détermine très largement les caractéristiques de cette actualisation (par une boucle de régulation fonctionnelle), et cette actualisation détermine dans quelles directions les acteurs peuvent chercher à transformer cette structure (par la boucle d'évolution structurelle), s'ils en ont les moyens et l'opportunité.

Sur la base d'une formalisation de la structure et des comportements des acteurs d'une organisation, ce mémoire propose un certains nombres d'outils pour éclairer la nature de leurs interactions. Compte tenu de la complexité et de la diversité des contextes organisationnels, les résultats présentés sont fragmentaires et ne sauraient constituer une théorie : il s'agit bien d'outils mis à la disposition de l'analyste ; en fonction des questions qu'il se pose, il lui appartient de sélectionner les outils appropriés, de les mettre en œuvre de façon pertinente et d'en interpréter les résultats. Dans tous les cas, il cherchera principalement à mettre en évidence les déterminants principaux d'un phénomène qu'il observe ou qui serait susceptible de se produire.

Dans le chapitre trois, nous avons présenté des indicateurs, instruments de mesure de propriétés de la structure d'une organisation (indicateurs structurels) ou des comportements des acteurs (indicateurs situés). Les valeurs numériques de ces mesures sont évidemment arbitraires et elles doivent être traduites dans une échelle qualitative correspondant à des concepts relevant de la sociologie. L'intérêt de ces indicateurs est de permettre la comparaison, fondement de toute ingénierie : comparaison entre les valeurs que prennent un indicateur pour différents éléments de même nature ; comparaison, en proportion, de la valeur d'un indicateur pour un élément par rapport à l'ensemble des valeurs qu'il pourrait prendre.

Dans ce même chapitre, nous avons montré comment calculer explicitement, de façon analytique, certaines configurations d'une organisation qui sont remarquables en ce qu'elles satisfont une propriété particulièrement significative du point de vue de la sociologie : maximum (ou minimum) de satisfaction d'un acteur ou global, configurations égalitaires, équilibre de Nash, etc. La répartition de ces configurations remarquables, y compris celles résultant de simulations, dans l'espace des configurations d'une organisation, la distance qui les sépare et ce en quoi elles diffèrent les unes des autres, permet de mettre en évidence le ou les quelques éléments de l'organisation qui sont constitutifs de cette propriété.

Dans le chapitre cinq, nous avons montré comment des techniques d'analyse de données peuvent être appliquées à l'ensemble des configurations calculées par une expérience de simulations du processus de régulation d'une organisation. Dès qu'une organisation comporte plus de quatre ou cinq acteurs, il devient difficile d'interpréter la masse des données produites. Préalablement à leur interprétation sociologique, il convient donc de synthétiser les informations qu'elles contiennent en mettant en évidence les propriétés qui les caractérisent.

Les outils d'analyse de la structure d'une organisation abordés aux chapitre six, sept et huit, et plus particulièrement de les paysages de satisfaction, constituent la principale contribution de ce mémoire. Ils participent à l'étude formelle de la structure d'une organisation, en complétant l'ensemble des indicateurs issus du méta-modèle, en éclairant la dynamique de l'ajustement fonctionnel des comportements, et en fournissant des éléments pour la simulation de son évolution structurelle.

De la même façon que les indicateurs du méta-modèle proposent des mesures structurelles et situées, l'étude des propriétés du relief d'un paysage permet de rendre compte de propriétés imputables à la structure de l'organisation. Les caractéristiques des îlots de satisfaction d'un paysage, par exemple, révèlent certaines propriétés structurelles qui ont trait à la coopérativité potentielle de l'organisation. Plus généralement, en objectivant le contexte dans lequel se déroule la régulation des comportements, les paysages de satisfaction<sup>1</sup>, permettent d'appréhender le *potentiel* de l'organisation, tout en situant les configurations résultats de la régulation par rapport aux autres configurations.

Les paysages sont des objets qui nous permettent d'envisager la simulation des évolutions structurelles, si l'on considère que les acteurs agissent de façon à déformer les paysages d'une organisation à leur avantage. De la même façon que les variations de l'état des relations représentent le comportement de l'acteur qui les contrôle, l'allure des paysages de satisfaction (selon les relations qu'il contrôle) et son évolution pourrait représenter la manière dont un acteur peut chercher à modifier règles du jeu social.

Le calcul de gradients en un point du paysage permet de caractériser une configuration. Les gradients de satisfaction d'un acteur, parce qu'ils indiquent en un point le *sens de plus forte pente* de son paysages, donnent la direction à suivre pour réaliser son méta-objectif; ils contribuent ainsi à donner la tendance générale de la dynamique du comportement qu'ils adopteraient s'ils n'étaient pas contraints par les autres. Raisonner sur la pente des paysages permet à la fois d'évaluer la stabilité des configurations régulées et ce qu'il adviendrait si l'on s'en écartait. Il est également possible de retrouver dans les résultats de simulations, l'expression de propriétés des paysages de satisfaction. D'autre part, les synergies caractérisent la similarité des intérêts d'acteurs dans une certaine configuration.

## 9.2 Limites

Nous n'aborderons pas les limites qui tiennent au méta-modèle des organisations ni à l'algorithme de simulation du processus de régulation des comportements des acteurs. Les résultats présentés dans ce mémoire ne valent que si l'on souscrit aux théories issues des sciences sociales sur lesquelles ce méta-modèle et cet algorithme sont fondés, ainsi qu'à la façon dont ils sont formalisés.

### 9.2.1 Interprétation, représentation et calcul d'îlots : le problème de la dimension

Un paysage de satisfaction peut être un objet complexe, constitué de nombreuses dimensions : les relations dont il dépend directement, auxquelles s'ajoutent celles des acteurs dont il est solidaire.

Il est difficile d'interpréter un paysage de satisfaction dans au-delà de trois ou quatre dimensions : on ne peut plus en donner de représentation graphique et on perd alors l'intérêt de la représentation synthétique et de son «interprétation visuelle» qu'offre le paysage. En outre, la difficulté d'interprétation d'un gradient augmente également avec son nombre de composantes. Il faut donc trouver des moyens de réduire le nombre de dimensions, en mobilisant des techniques appropriées (méthode de classification telle que l'ACP, agrégation) mais on perd alors en précision. Il nous faut nuancer cette limite dans la mesure où les outils produisent certes des mesures éventuellement de grande dimension, mais destinées à être interprétées par le sociologue modélisateur. En fonction de la question à laquelle il cherche à répondre, l'analyste pourra choisir de se concentrer sur un sous-ensemble de ces dimensions, au prix d'une perte d'information, ou au contraire agréger ces dimensions et ne considérer qu'une mesure globale, au prix d'une perte de granularité.

---

1. Ou de tout autre indicateur situé pertinent pour répondre à la question du modélisateur

Ce problème se pose aussi dans une moindre mesure, pour le calcul des différents îlots d'un paysage. On a vu que le calcul analytique de la taille d'un îlot est difficile dès que l'on considère plus de deux ou trois dimensions. A supposer que l'on discrétise l'espace de choix de dix relations en 21 valeurs (l'intervalle  $[-10, 10]$  avec un quantum de 1), la combinatoire d'un tel espace d'état est trop importante ( $21^{10} \approx 16\,000$  milliards de valeurs) pour tenir dans la mémoire d'un ordinateur personnel. Dans le cas de Plan International que nous avons présenté, plus réaliste, les directeurs locaux dépendent de 7 relations, ce qui fait tout de même 1.8 milliards d'états à explorer pour le calcul d'îlots de leurs paysages. Nous ne nous sommes pas penchés sur les moyens d'optimiser le calcul d'îlots, que ce soit de façon mathématique (par calcul symbolique) ou informatique.

## 9.2.2 Apprentissage et simulation des évolutions endogènes dans des espaces de grande dimension

Le problème (parfois qualifié de fléau) du nombre de dimensions est un obstacle bien connu de l'apprentissage automatique. Au fur et à mesure que le nombre de dimensions de l'espace des possibles croît, le nombre d'observations nécessaires pour «couvrir» cet espace et l'apprendre explose. Dans notre cas, un acteur qui devrait apprendre comment modifier la structure d'une organisation sur la base de la satisfaction qu'il reçoit dans la configuration régulée ferait face à ce problème. Même si on limite les modifications structurelles aux enjeux et aux solidarités d'un modèle de taille «raisonnable», le nombre d'observations nécessaires pour qu'un algorithme d'apprentissage converge nécessiterait un nombre irréaliste de simulations. Pour compléter ce que nous avons dit en conclusion du chapitre huit, l'apprentissage par essais-erreurs ne semble pas la bonne approche pour envisager la simulation des évolutions endogènes, pour des raisons de plausibilité sociologique surtout, mais également du fait de la taille de l'espace d'apprentissage.

Les propriétés structurelles de l'organisation que la topologie des paysages révèlent ne sont valables qu'a priori, rien ne dit qu'elles vont transparaître dans le fonctionnement effectif de l'organisation. Par exemple, l'évaluation de la coopérativité de la structure d'une organisation, qui suppose de considérer les tailles des îlots de satisfaction des acteurs et leurs intersections éventuelles, ne mesure que le *potentiel* qu'a l'organisation de permettre la coopération. Il existe de bonnes raisons de penser que cette caractéristique structurelle facilite l'établissement de la coopération, mais nous ne pouvons pas l'affirmer : tout dépendra des résultats du processus de régulation. Autrement dit, de la même façon que le modèle de la structure ne suffit pas toujours à expliquer le fonctionnement effectif d'une organisation, la connaissance de la topologie des paysages d'une organisation ne suffit pas toujours à expliquer les déterminants du résultat de la régulation.

Pour illustrer ce propos, on pourra se poser la question suivante : soient deux organisations  $O_1$  et  $O_2$ , telles que le degré de coopérativité d' $O_1$  soit significativement plus important que celui de  $O_2$ . A l'issue d'une simulation de régulation, si le pourcentage de niveau de capacité d'action globale obtenue dans  $O_2$  est bien plus important que dans  $O_1$ , peut-on toujours dire que l'organisation  $O_1$  incite plus à la coopération que  $O_2$  ?

Autrement dit, on n'échappe pas à l'indétermination du social.

## 9.3 Perspectives

### 9.3.1 Tirer parti des outils d'analyse structurelle pour la simulation des évolutions endogènes

Comme nous l'avons déjà évoqué, il ne nous semble pas vraisemblable du point de vue cognitif, de doter les acteurs de la possibilité de raisonner directement sur leurs paysages. En revanche, le gradient de satisfaction d'un acteur est cohérent avec son méta-objectif : augmenter sa satisfaction. On pourrait donc envisager de doter les acteurs de la possibilité de considérer les gradients de leur influence ou de leur satisfaction calculés dans une configuration régulée. Cela permettrait notamment d'introduire dans leur rationalité la prise en compte du *risque* qu'il y a à changer de comportement.

L'étude exploratoire de la simulation des évolutions des répartitions d'enjeux (cf. section 3 du chapitre huit), bien que perfectible, a donné quelques résultats préliminaires intéressants. Cette étude pourrait être répliquée en considérant cette fois la modification des solidarités des acteurs, modifiées en fonction des synergies et de co-dépendances calculées dans les configurations régulées.

### 9.3.2 D'autres rationalités pour les acteurs

La simulation de la régulation est incontournable pour l'étude d'une organisation. L'hypothèse de rationalité limitée, et les moyens algorithmiques qui sont employés pour l'implanter, ont donc un impact certain sur la nature des résultats de simulation. Notre modèle de rationalité offre la possibilité de renforcer ou d'affaiblir les limitations cognitives des acteurs, que ce soit en termes d'accès à l'information ou en termes de traitements. Confronter les propriétés structurelles que nos outils produisent à des rationalités plus ou moins sophistiquées participerait à mieux cerner l'effet de la structure d'une organisation sur sa régulation.

### 9.3.3 Institutionnaliser la régulation : un nouvel objectif pour les acteurs

Lorsque que Friedberg évoque la séquence génétique des systèmes d'action concrets, c'est-à-dire la succession d'étapes par lesquelles un SAC passe au cours de son existence, il évoque l'intériorisation progressive de la coopération en tant que but, chez les acteurs d'un SAC. La coopération fait l'objet d'une «prise de conscience», et n'est plus valorisée pour le bénéfice qu'elle apporte mais «fait partie des choses naturelles». Elle devient même un critère de sélection de l'action, lors de l'évaluation d'alternatives par les acteurs. Lorsque la recherche et le maintien de la coopération s'institutionnalise dans l'organisation, des acteurs «régulateurs» apparaissent, dont le rôle plus ou moins explicitement formulé est de maintenir cette coopération, par une succession d'ajustement et d'équilibrages dans l'organisation.

Il serait intéressant de formaliser le méta-objectif «maintenir les conditions d'une bonne coopération» à l'aide des outils présentés dans cette thèse, et d'étudier ce que donnerait la régulation d'un SAC comportant un acteur régulateur. Cet acteur pourrait par exemple disposer de ressources spécifiques donnant lieu à des relations explicites de maintien de la coopération, dont chacun dépendrait significativement, permettant au régulateur de faire pression de manière efficace sur les autres. Alternativement, puisque les fonctions d'effets indiquent comment les acteurs se représentent les choses, l'intériorisation de la coopération dans les buts des acteurs pourrait se traduire par une modification de la forme des fonctions d'effets, de façon à favoriser les configurations qui mènent à des situations coopératives, de manière à rendre la régulation plus robuste.

### 9.3.4 Vers une vision thermodynamique des organisations

Il n'échappera pas au lecteur que les outils de géométrie différentielle mobilisés dans cette thèse sont les mêmes que ceux employés en physique, et plus particulièrement en mécanique. Cette similitude est d'ordre purement technique puisqu'à la différence de la physique, nous ne proposons pas de théorie formelle ni d'expériences pour l'éprouver, mais elle nous autorise certaines analogies.

Tout d'abord, la situation d'un acteur dans son paysage peut être vue comme un point situé dans le référentiel de l'organisation, soumis à des forces diverses (la poursuite de son méta-objectif, les contraintes qu'exercent les autres sur lui en poursuivant ce même objectif). Dans le même ordre d'idée, la configuration régulée d'une organisation est une position d'équilibre, résultant de l'application des forces à l'œuvre au sein de l'organisation, appliquées au système que forme les situations des acteurs.

D'une certaine manière, on peut considérer que l'étude des variations des effets des relations sur les acteurs par rapport à leurs états revient à mettre partiellement en équation leur «mouvement», et relève alors de la cinématique.

Malheureusement, du fait de l'infinie inventivité des acteurs sociaux, de leur libre arbitre, de l'impossibilité de formaliser leurs actions concrètes et encore moins les réactions qu'elles produisent, il nous est impossible de formuler avec exactitude les «équations du mouvement social», comme le fait la mécanique du solide. Il nous semble qu'un autre paradigme de la physique serait plus adapté pour

traiter des organisations : celui de la thermodynamique.

Lorsque nous étudions la régulation d'une organisation, nous nous intéressons au processus selon lequel une organisation amène un ensemble d'acteurs aux caractéristiques hétérogènes, dans un état d'équilibre macroscopique, sans l'existence duquel elle ne pourrait fonctionner. Cet état d'équilibre résulte d'une succession de transformations qui s'opèrent au niveau microscopique, lors des transactions de pouvoir entre les acteurs. C'est ce à quoi s'intéresse la thermodynamique, qui cherche à modéliser les grands systèmes en équilibre, pour lesquels il est impossible de considérer précisément les interactions de ses constituants au niveau microscopique.

On peut pousser l'analogie un peu plus loin. Une organisation pourrait être vue dans un premier temps comme un système thermodynamique isolé, dont l'énergie réside dans les forces de ses relations. Sous l'effet du comportement des acteurs, cette force est convertie en pouvoir ou en capacité d'action, à la manière de l'énergie qui peut être convertie en travail ou en chaleur. Si l'on s'intéresse ensuite aux interactions de l'organisation avec son environnement, l'appropriation d'une ressource de l'environnement par l'organisation peut être vue comme un transfert d'énergie entre l'environnement et l'organisation.

Pour caractériser les états d'équilibre macroscopique d'un système, la thermodynamique emploie des *fonctions d'états*. Ces fonctions sont notamment employées pour mesurer les effets que peuvent avoir différentes transformations sur le système. Trouver une fonction d'état pertinente<sup>2</sup>, qui constituerait l'équivalent de l'*entropie* et qui rendrait compte du degré de désordre d'un système social, nous semblerait aborder la théorie formelle des organisations de façon particulièrement élégante.

De nombreux auteurs se sont intéressés au paradigme de l'entropie sociale pour caractériser les évolutions de systèmes sociaux [Bailey, 1990]. Ils s'appuient pour cela sur la seconde loi de la thermodynamique, qui stipule que toute évolution d'un système s'accompagne d'une augmentation de l'entropie globale i.e. celle du système et de son environnement.

Dans ce cadre, la définition générale de l'entropie sociale est la quantité d'énergie «gaspillée», dissipée dans le système, c'est-à-dire qui n'est pas employée au maintien de la raison d'être de ce système i.e. sa structure, ses normes, ses rôles, ses statuts : tout ce qui contribue à maintenir un certain *ordre* social.

Le second principe de la thermodynamique se traduit alors de la façon suivante : tout système social subit un déclin naturel, qui tend à le faire glisser vers l'anomie (qui est l'état d'entropie maximale du système [Krippendorff et al., 1979]), vers une altération de sa structure, où les différenciations sociales s'effacent.

[Infante, 2001] a proposé d'appliquer le second principe de la thermodynamique en postulant que le degré d'entropie d'un système social était équivalent au degré d'*insatisfaction* de ses membres par rapport à ses règles. Cette approche nous semble intéressante parce que nous sommes en mesure, à l'aide des outils présentés dans le manuscrit, d'estimer ce degré d'insatisfaction, de par la position d'un acteur dans son paysage de satisfaction et la forme du paysage de satisfaction globale. Il nous apparaît donc possible dans le futur d'ajouter au framework d'analyse des organisations sociales de ce manuscrit, une dimension thermodynamique cohérente, qui permettrait de comparer les structures organisationnelles sous l'angle de l'entropie sociale qu'elles génèrent.

---

2. Nous pensons que la capacité d'action globale, ou la taille de l'îlot de capacité globale de niveau acceptable par tous les acteurs constituent de bons candidats, car il se trouve que l'altitude d'un paysage est une fonction d'état.



# Bibliographie

- [Antunes et al., 2010] Antunes, L., Balsa, J., Urbano, P., and Coelho, H. (2010). Exploring context permeability in multiple social networks. In Takadama, K., Cioffi-Revilla, C., Deffuant, G., Chen, S.-H., Cioffi-Revilla, C., Gilbert, N., Kita, H., and Terano, T., editors, *Simulating Interacting Agents and Social Phenomena*, volume 7 of *Agent-Based Social Systems*, pages 77–87. Springer Japan.
- [Antunes et al., 2009] Antunes, L., Nunes, D., Coelho, H., Balsa, J. a., and Urbano, P. (2009). Context switching versus context permeability in multiple social networks. In *Proceedings of the 14th Portuguese Conference on Artificial Intelligence : Progress in Artificial Intelligence*, EPIA '09, pages 547–559, Berlin, Heidelberg. Springer-Verlag.
- [Argyris and Schon, 1996] Argyris, C. and Schon, D. A. (1996). *Organizational learning II : theory, method and practice / Chris Argyris, Donald A. Schon*. Addison-Wesley, Reading, Mass. :.
- [Arrow et al., 2002] Arrow, K. J., Sen, A. K., and Suzumura, K., editors (2002). *Handbook of Social Choice and Welfare, Volume 1 (Handbooks in Economics)*. North Holland, 1 edition.
- [Bailey, 1990] Bailey, K. (1990). *Social Entropy Theory*. State University of New York Press.
- [Barel, 1979] Barel, Y. (1979). *Le paradoxe et le système : essai sur le fantastique social / Yves Barel*. Presses universitaires de Grenoble, Grenoble :.
- [Berger and Gostiaux, 1992] Berger, M. and Gostiaux, B. (1992). *Géométrie différentielle : variétés, courbes et surfaces*. Presses universitaires de France.
- [Bernoux, 1985] Bernoux, P. (1985). *La sociologie des organisations*. Seuil.
- [Boella, 2003] Boella, G. (2003). Obligations and cooperation : Two sides of social rationality. In Hexmoor, H., Castelfranchi, C., and Falcone, R., editors, *Agent autonomy*, Multiagent systems, artificial societies, and simulated organizations, chapter 5, pages 75–102. Kluwer Academic Publishers.
- [Boella and Lesmo, 2001] Boella, G. and Lesmo, L. (2001). Deliberate normative agents. In *Social order in MAS*. Kluwer.
- [Bonacich, 1987] Bonacich, P. (1987). Power and centrality : A family of measures. *American Journal of Sociology*, 92(5) :1170–1182.
- [Boudon and Bourricaud, 2000] Boudon, R. and Bourricaud, F. (2000). *Dictionnaire critique de la sociologie*. Quadrige (Paris. 1981). Quadrige/PUF.
- [Butts and Carley, 2007] Butts, C. T. and Carley, K. M. (2007). Structural change and homeostasis in organizations : A decision-theoretic approach. *Journal of Mathematical Sociology*, 31 :295–321.
- [Carabelea et al., 2004] Carabelea, C., Boissier, O., and Castelfranchi, C. (2004). Using social power to enable agents to reason about being part of a group. In Gleizes, M. P., Omicini, A., and Zambonelli, F., editors, *ESAW*, volume 3451 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 166–177. Springer.
- [Carley, 1998] Carley, K. M. (1998). Adaptive organizations and emergent forms. In Demazeau, Y., editor, *ICMAS*, pages 2–3. IEEE Computer Society.
- [Carley and Hill, 2001] Carley, K. M. and Hill, V. (2001). Structural change and learning within organizations. In *Dynamics of organizational societies : Models theories and methods. Edited by Alessandro Lomi*.
- [Castelfranchi, 1995] Castelfranchi, C. (1995). Commitments : From individual intentions to groups and organizations. In Lesser, V. R. and Gasser, L., editors, *ICMAS*, pages 41–48. The MIT Press.

- [Castelfranchi, 2003] Castelfranchi, C. (2003). The Micro-Macro Constitution of Power. *Protosociology*, 18-19 :208–268.
- [Castelfranchi, 2011] Castelfranchi, C. (2011). Trust : nature and dynamics. In Marti, P., Soro, A., Gamberini, L., and Bagnara, S., editors, *CHIItaly*, pages 13–14. ACM.
- [Castelfranchi et al., 1992] Castelfranchi, C., Miceli, M., and Cesta, A. (1992). Dependence relations among autonomous agents. In Werner, E. and Demazeau, Y., editors, *Decentralized A.I. 3 : Proc. of the Third European Workshop on Modelling Autonomous Agents in a Multi-Agent World*, pages 215–227. North-Holland, Amsterdam.
- [Cazabet, 2009] Cazabet, R. (2009). Extension de la rationalité d’agents collaboratifs. Master’s thesis, Université Toulouse 1 Capitole.
- [Chapron et al., 2011] Chapron, P., Sibertin-Blanc, C., and Adreit, F. (2011). Analysis of Power Networks among the actors of a social organization. In *Proceedings of SNAMAS track @AISB 2011, York*. A paraître.
- [Crener and Monteil, 1981] Crener, M. and Monteil, B. (1981). *Principes de management*. Presses de l’Université du Québec.
- [Crozier, 1963] Crozier, M. (1963). *Le phénomène bureaucratique. Essai sur les tendances bureaucratiques des systèmes d’organisation modernes et sur leurs relations en France avec le système social et culturel*. Paris, Seuil.
- [Crozier and Friedberg, 1978] Crozier, M. and Friedberg, E. (1978). *L’acteur et le système*. Seuil, Paris.
- [Demazeau, 2001] Demazeau, Y. (2001). *VOYELLES*. PhD thesis, INPG.
- [Dignum, 2004] Dignum, V. (2004). *A model for organizational interaction : based on agents, founded in logic*. PhD thesis, Universiteit Utrecht.
- [Dignum and Weigand, 2003] Dignum, V. and Weigand, H. (2003). Toward an organization-oriented design methodology for agent societies. In Plekhanova, V., editor, *Intelligent Agent Software Engineering*, pages 191–212. IGI Global.
- [Dijkstra, 1959] Dijkstra, E. W. (1959). A note on two problems in connexion with graphs. *Numerische Mathematik*, 1 :269–271.
- [Durkheim, 1897] Durkheim, É. (1897). *Le suicide : étude de sociologie*. Bibliothèque de philosophie contemporaine. F. Alcan.
- [Edmonds, 2005] Edmonds, B. (2005). The revealed poverty of the gene-meme analogy - why memetics per se has failed to produce substantive results. *Journal of Memetics Evolutionary Models of Information Transmission*, 9(1) :1–4.
- [El Gemayel et al., 2011] El Gemayel, J., Adreit, F., and Sibertin-Blanc, C. (2011). Un modèle de la rationalité limitée des acteurs sociaux pour l’ajustement de leurs comportements. *RIA*.
- [El Gemayel et al., 2009] El Gemayel, J., Sibertin-Blanc, C., and Chapron, P. (2009). Impact of tenacity upon the Behaviors of Social Actors (regular paper). In Drogoul, A., Gaudou, B., and Marilleau, N., editors, *Applied Agent based simulator Engineering for Complex System study, Nagoya, Japan, 13/12/2009*.
- [Erhard, 1988] Erhard, F. (1988). *L’Analyse sociologique des organisations*. L’Harmattan, Paris, nouv. éd. remise à jour edition.
- [Esteva et al., 2001] Esteva, M., Padget, J. A., and Sierra, C. (2001). Formalizing a language for institutions and norms. In Meyer, J.-J. C. and Tambe, M., editors, *Intelligent Agents VIII, 8th International Workshop, ATAL 2001 Seattle, WA, USA, August 1-3, 2001, Revised Papers*, volume 2333 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 348–366. Springer.
- [Ferber and Gutknecht, 1998] Ferber, J. and Gutknecht, O. (1998). A meta-model for the analysis and design of organizations in multi-agent systems. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Multi Agent Systems, ICMAS ’98*, pages 128–, Washington, DC, USA. IEEE Computer Society.

- [Ferber et al., 2004] Ferber, J., Michel, F., and Báez-Barranco, J.-A. (2004). Agre : Integrating environments with organizations. In Weyns, D., Parunak, H. V. D., and Michel, F., editors, *E4MAS*, volume 3374 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 48–56. Springer.
- [Freeman, 1979a] Freeman, L. (1979a). Centrality in social networks conceptual clarification. *Social networks*, 1(3) :215–239.
- [Freeman, 1979b] Freeman, L. C. (1979b). Centrality in social networks : Conceptual clarification. *Social Networks*, 1(3) :215–239.
- [Friedberg, 1992] Friedberg, E. (1992). Les quatre dimensions de l’action organisée. *Revue française de sociologie*, 33(4) :531–557.
- [Friedberg, 1993] Friedberg, E. (1993). *Le pouvoir et la règle*. Ed. du Seuil, Paris.
- [Gâteau et al., 2005] Gâteau, B., Boissier, O., Khadraoui, D., and Dubois, E. (2005). Moiseinst : An organizational model for specifying rights and duties of autonomous agents. In Gleizes, M. P., Kaminka, G. A., Nowé, A., Ossowski, S., Tuyls, K., and Verbeeck, K., editors, *EUMAS*, pages 484–485. Koninklijke Vlaamse Academie van Belie voor Wetenschappen en Kunsten.
- [Giddens and Audet, 1987] Giddens, A. and Audet, M. (1987). *La constitution de la société : éléments de la théorie de la structuration*. Sociologies (Paris). Presses universitaires de France.
- [Gilbert, 1996] Gilbert, N. (1996). Holism, Individualism and Emergent Properties. An Approach from the Perspective of Simulation. In *Modelling and Simulation in the Social Sciences from the Philosophy of Science Point of View*. Springer.
- [Grabisch, 2006] Grabisch, M. (2006). L’utilisation de l’intégrale de choquet en aide multicritère à la décision. Newsletter of the European Working Group ”Multicriteria Aid for Decisions”.
- [Grabisch and Perny, 1999] Grabisch, M. and Perny, P. (1999). Agrégation multicritère. In Bouchon, B. and Marsala, C., editors, *Utilisations de la logique floue*. Hermès.
- [Grabisch and Roubens, 2000] Grabisch, M. and Roubens, M. (2000). Application of the Choquet integral in multicriteria decision making. In Grabisch, M., Murofushi, T., and Sugeno, M., editors, *Fuzzy Measures and Integrals - Theory and Applications*, pages 348–374. Physica Verlag.
- [Granovetter, 1973] Granovetter, M. (1973). The Strength of Weak Ties. *The American Journal of Sociology*, 78(6) :1360–1380.
- [Haddawy and Suwandi, 1994] Haddawy, P. and Suwandi, M. (1994). Decision-theoretic refinement planning using inheritance abstraction. In Hammond, K. J., editor, *AIPS*, pages 266–271. AAAI.
- [Hales, 1998] Hales, D. (1998). Stereotyping, groups and cultural evolution : A case of ”second order emergence” ? In Sichman, J., Conte, R., and Gilbert, N., editors, *Multi-Agent Systems and Agent-Based Simulation*, volume 1534 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 141–145. Springer Berlin / Heidelberg.
- [Hanneman and Riddle, 2005] Hanneman, R. A. and Riddle, M. (2005). *Introduction to Social Network Methods*, volume 1. University of California.
- [Hübner et al., 2002] Hübner, J. F., Sichman, J. S., and Boissier, O. (2002). A model for the structural, functional, and deontic specification of organizations in multiagent systems. In In Guilherme Bittencourt and Geber L. Ramalho, editors, *Proceedings of the 16th Brazilian Symposium on Artificial Intelligence (SBIA 02), LNAI 2507*, pages 118–128. Springer.
- [Infante, 2001] Infante, A. (2001). Social entropy : A paradigmatic approach of the second law of thermodynamics to an unusual domain. Technical report, Nexial Institute.
- [Jiang et al., 2009] Jiang, W., Bin, H., Yu, Z., Spence, C., Hall, S. B., and Carley, K. M. (2009). An agent-based simulation study for exploring organizational adaptation. *Simulation*, 85 :397–413.
- [Kellerhals et al., 1992] Kellerhals, J., Coenen-Huther, J., and Modak, M. (1992). *Figures de l’équité. La construction des normes de justice dans les groupes*. PUF.
- [Kitts, 2008] Kitts, J. (2008). Dynamics and stability of collective action norms. *Journal of Mathematical Sociology*, 32(2) :142–163.

- [Krackhardt and Carley, 1998] Krackhardt, D. and Carley, K. M. (1998). A pcans model of structure in organizations. *Proceedings of the 1998 International Symposium on Command and Control Research and Technology*, pages 113–119.
- [Krippendorff et al., 1979] Krippendorff, K., for Cybernetics, A. S., and of Pennsylvania, U. (1979). *Communication and control in society*. Collection spéciale : CER. Gordon and Breach.
- [Lacomme, 2011] Lacomme, L. (2011). *Un modèle générique pour les organisations dynamiques en univers multi-agent*. These, Université de Grenoble.
- [Lazega, 1998] Lazega, E. (1998). *Réseaux sociaux et structures relationnelles*. PUF, Paris.
- [Le Moigne, 1977] Le Moigne, J. (1977). *La Théorie du système général : Théorie de la modélisation*. Presses Universitaires de France, Paris.
- [Luciano R. Coutinho, 2005] Luciano R. Coutinho, Jaime S. Sichman, O. B. (2005). Modeling organizations in mas : a comparison of models. In *Proc. of the First Workshop on Software Engineering for Agent-oriented Systems ( SEAS 2005)*, Uberlândia, MG.
- [Mailliard, 2008] Mailliard, M. (2008). *Formalisation Multi-Agents de la Sociologie de l'Action Organisée*. Thèse de doctorat, Université des Sciences Sociales, Toulouse, France.
- [Mailliard, 2010] Mailliard, M. (2010). What is Power ? Perspectives from Sociology, MAS and SNA. (regular paper). In Andrighetto, G., Boella, G., Pagallo, U., and Villata, S., editors, *Second Symposium on Social Networks and Multiagent Systems (AISB - SNAMAS), Leicester (UK), 29/03/10-01/04/10*, pages 4–9, [http ://www.aisb.org.uk](http://www.aisb.org.uk). Society for the Study of Artificial Intelligence and the Simulation of Behaviour.
- [”March and Simon, 1991] ”March, J. G. and Simon, H. A. (”1991”). ”(Les) organisations”. ”Systémique”. ”Dunod”, ”Paris”, ”2e éd.” edition. ”Bibliogr. p. 210-244. Index”.
- [McPeak, 2001] McPeak, M. (2001). Tackling fragmentation and building unity in an international nongovernmental organization. *Nonprofit Management and Leadership*, 11(4) :477–491.
- [Nguyen, 2007] Nguyen, V. Q. A. (2007). Introduction du flou dans un modèle de la rationalité des acteurs sociaux selon crozier et friedberg. Master’s thesis, Université de Toulouse III Paul Sabatier.
- [Nongaillard et al., 2009] Nongaillard, A., Mathieu, P., and Jaumard, B. (2009). A Realistic Approach to Solve the Nash Welfare. In *Advances in Soft Computing*, volume 55/2009, pages 374–382. Springer Berlin / Heidelberg.
- [Parthenay, 2004] Parthenay, C. (2004). Herbert simon : rationalité limitée , théorie des organisations et sciences de l’artificiel . In *Les grands auteurs en économie des organisations*, pages 1–28. EMS management et Société.
- [Pazos, 2011] Pazos, L. S. (2011). *Le management et les logiques de la gestion propres aux organisations de développement social*. These, HEC Montréal.
- [Penserini et al., 2009a] Penserini, L., Dignum, F., Dignum, V., Aldewereld, H., and Grossi, D. (2009a). Evaluating organizational configurations. In *IAT*, pages 153–160. IEEE.
- [Penserini et al., 2009b] Penserini, L., Dignum, V., Staikopoulos, A., Aldewereld, H., and Dignum, F. (2009b). Balancing organizational regulation and agent autonomy : An mde-based approach. In Aldewereld, H., Dignum, V., and Picard, G., editors, *ESAW*, volume 5881 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 197–212. Springer.
- [Roggero, 2006] Roggero, P. (2006). *De la complexité en sociologie : évolutions théoriques, développements méthodologiques et épreuves empiriques d’un projet sociologique*. PhD thesis, Université de Toulouse, [http ://www.editions-hermes.fr/](http://www.editions-hermes.fr/).
- [Roggero and Sibertin-Blanc, 2008] Roggero, P. and Sibertin-Blanc, C. (2008). Quand des sociologues rencontrent des informaticiens : essai de formalisation des systèmes d’action concrets. *Nouvelles perspectives en sciences sociales*, 3(2) :41–81.
- [Roggero and Vautier, 2003] Roggero, P. and Vautier, C. (2003). L’opacité du système politico-administratif français : essai de modélisation complexe. In Bourcier, D. and Donnadieu, G., editors, *Actes du V° Congrès Européen de Systémique*, [http ://www.res-systemica.org/afscet/resSystemica/index.html](http://www.res-systemica.org/afscet/resSystemica/index.html). AFSCET.

- [Roy, 1985] Roy, B. (1985). *Méthodologie multicritère d'aide à la décision*. Economica, Paris.
- [Sainsaulieu, 1977] Sainsaulieu, R. (1977). *L'Identité au travail : les effets culturels de l'organisation*. Les effets culturels de l'organisation. Presses de la Fondation Nationale des Sciences Politiques.
- [Sanchez-Arias, 2011] Sanchez-Arias, L. F. (2011). Simulation multi-agents d'un processus de changement organisationnel. le cas d'une ong de développement social. Master's thesis, Université Toulouse 1 Capitole.
- [Schillo et al., 2001] Schillo, M., Fischer, K., and Klein, C. T. (2001). The micro-macro link in dai and sociology. In *Proceedings of the second international workshop on Multi-agent based simulation*, pages 133–148, Secaucus, NJ, USA. Springer-Verlag New York, Inc.
- [Schmitt and Mattioli, 1994] Schmitt, M. and Mattioli, J. (1994). *Morphologie mathématique*. Logique mathématiques informatique. Masson.
- [Scieur, 2005] Scieur, P. (2005). *Sociologie des organisations*. Cursus. Sociologie. Colin, Armand.
- [Sibertin-Blanc et al., 2010] Sibertin-Blanc, C., Adreit, F., Chapron, P., El Gemayel, J., Mailliard, M., Roggero, P., and Vautier, C. (2010). Compte-rendu d'une recherche interdisciplinaire entre sociologues et informaticiens : de la sociologie de l'action organisée au logiciel SocLab. *Technique et Science Informatiques*, 29(3).
- [Sichman, 1998] Sichman, J. S. (1998). Depint : Dependence-based coalition formation in an open multi-agent scenario. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 1 :2.
- [Simon, 1947] Simon, H. (1947). *Administrative behaviour : a study of Decision Making Processes in Administrative Organizations*. Mac Millan, New York.
- [Simon, 1984] Simon, H. (1984). *Models of Bounded Rationality, Volume 1-3*. Models of Bounded Rationality. The MIT Press.
- [Simon, 1956] Simon, H. A. (1956). Rational choice and the structure of the environment. *Psychological Review*, 63(2) :129–138.
- [Smajgl et al., 2008] Smajgl, A., Izquierdo, L. R., and Huigen, M. (2008). Modeling endogenous rule changes in an institutional context : The adico sequence. *Advances in Complex Systems (ACS)*, 11(02) :199–215.
- [Smets, 2005] Smets, P. (2005). *La légitimité au quotidien. L'idéologie dans le discours managérial*. These, Université Libre de Bruxelles.
- [Squazzonni, 2008] Squazzonni, F. (2008). The micro-macro link in social simulation. *Sociologica*, 1.
- [Stratulat et al., 2009] Stratulat, T., Ferber, J., and Tranier, J. (2009). Masq : towards an integral approach to interaction. In Sierra, C., Castelfranchi, C., Decker, K. S., and Sichman, J. S., editors, *AAMAS (2)*, pages 813–820. IFAAMAS.
- [Sutton and Barto, 1998] Sutton, R. S. and Barto, A. G. (1998). *Reinforcement Learning : An Introduction (Adaptive Computation and Machine Learning)*. The MIT Press.
- [Tranier, 2007] Tranier, J. (2007). *Vers une vision intégrale des systèmes multi-agents : Contribution à l'intégration des concepts d'agent, d'environnement, d'organisation et d'institution*. These, Université Montpellier II - Sciences et Techniques du Languedoc.
- [Varenne, 2011] Varenne, F. (DL 2011). *Modéliser le social*. Psycho sup. Dunod, Paris.
- [Walliser, 2003] Walliser, B. (2003). Rationalité, évolution et genèse des institutions. In Changeux, J., editor, *Gènes et Culture*, pages 263–276. Paris : Odile Jacob.
- [Wilber, 2001] Wilber, K. (2001). *A Theory of Everything : An Integral Vision for Business, Politics, Science and Spirituality*. Shambhala.
- [Wiles and Tonkes, 2006] Wiles, J. and Tonkes, B. (2006). Hyperspace geography : Visualizing fitness landscapes beyond 4d. *Artificial Life*, 12(2) :211–216.

## Chapitre 10

# Annexes : Scripts de traitements utilisés

Nous avons réalisé les calculs de gradients à l'aide de la librairie de calcul symbolique **Sympy** du langage **Python**. L'un des avantages de cette librairie est de pouvoir donner le code  $\text{\LaTeX}$  de tout élément manipulé, ce qui se révèle très pratique pour les matrices et vecteurs.

Les traitements de l'analyse statistiques des résultats de simulation ont été effectués à l'aide du logiciel **R** et le package **FactoMineR**, très pratique pour la réalisation des ACP.

### 10.1 Script Python de calcul des gradients, synergies et co-dépendances

Ce script examine chaque dyade d'acteurs, et produit les résultats littéraux et numériques des gradients et produits scalaires utilisés dans le chapitre sept pour calculer les gradients des acteurs.

```
# -*- coding: utf-8 -*-
from sympy import *
import sys
sys.displayhook = preview
from sympy.matrices import *
from sympy import preview

#déclaration des symboles#

#nombre d'acteurs (n) et de relations (m)
n=7
m=7

#Acteurs
Actors= ['BD', 'DG', 'HQ', 'BR', 'DL1', 'DL2', 'COM']
print 'Actors'
print Actors

# relations du modele

#ressource financieres
srf= Symbol('e_{rf}')
# Croissance et contrôle
scc= Symbol('e_{cc}')
#apllication niveau international
```

```

sai= Symbol('e_{ai}')
#applic reg
sar= Symbol('e_{ar}')
#appli cali
sac= Symbol('e_{aCal}')
#appli local
sal= Symbol('e_{al}')
#Lettres
sl= Symbol('e_{ltr}')

Relations= Matrix([srf, scc, sai, sar, sac, sal, sl])
print 'Relations'
print Relations

#enjeux
enBD_rf= Symbol('enjeu(BD, rf)')
enBD_cc= Symbol('enjeu(BD, cc)')
enBD_aC= Symbol('enjeu(BD, aCal)')
enBD_al= Symbol('enjeu(BD, aloc)')
enBD_l= Symbol('enjeu(BD, ltr)')

enDG_rf=Symbol('enjeu(DG, rf)')
enDG_cc=Symbol('enjeu(DG, cc)')
enDG_ai=Symbol('enjeu(DG, ai)')
enDG_aC=Symbol('enjeu(DG, aCal)')
enDG_al=Symbol('enjeu(DG, aloc)')

enHQ_rf=Symbol('enjeu(HQ, rf)')
enHQ_cc=Symbol('enjeu(HQ, cc)')
enHQ_ai=Symbol('enjeu(HQ, ai)')
enHQ_ar=Symbol('enjeu(HQ, areg)')
enHQ_aC=Symbol('enjeu(HQ, aCal)')
enHQ_al=Symbol('enjeu(HQ, aloc)')

enBR_cc=Symbol('enjeu(BR, cc)')
enBR_ai=Symbol('enjeu(BR, ai)')
enBR_ar=Symbol('enjeu(BR, areg)')
enBR_aC=Symbol('enjeu(BR, aCal)')
enBR_al=Symbol('enjeu(BR, aloc)')

enDL1_cc=Symbol('enjeu(DL1, cc)')
enDL1_ai=Symbol('enjeu(DL1, ai)')
enDL1_aC=Symbol('enjeu(DL1, aCal)')
enDL1_al=Symbol('enjeu(DL1, aloc)')
enDL1_l=Symbol('enjeu(DL1, ltr)')

enDL2_cc=Symbol('enjeu(DL2, cc)')
enDL2_ai=Symbol('enjeu(DL2, ai)')
enDL2_ar=Symbol('enjeu(DL2, areg)')

```

```

enDL2_aC=Symbol('enjeu(DL2,aCal)')
enDL2_al=Symbol('enjeu(DL2,aloc)')
enDL2_l=Symbol('enjeu(DL2,ltr)')

enCOM_rf=Symbol('enjeu(COM,rf)')
enCOM_aC=Symbol('enjeu(COM,aCal)')
enCOM_al=Symbol('enjeu(COM,aloc)')
enCOM_l=Symbol('enjeu(COM,ltr)')

#matrice litterale d'enjeux

lit_enjeux=Matrix(m,n,[enBD_rf, enDG_rf, enHQ_rf,0,0,0,enCOM_rf,
enBD_cc,enDG_cc, enHQ_cc, enBR_cc, enDL1_cc, enDL2_cc, 0,
0,enDG_ai, enHQ_ai, enBR_ai, enDL1_ai, enDL2_ai,0,
0,0,enHQ_ar,enBR_ar,0, enDL2_ar,0,
enBD_aC, enDG_aC, enHQ_aC, enBR_aC, enDL1_aC, enDL2_aC, enCOM_aC,
enBD_al, enDG_al, enHQ_al, enBR_al, enDL1_al, enDL2_al, enCOM_al,
enBD_l,0,0,0,enDL1_l,enDL2_l,enCOM_l
])

#matrice numerique d'enjeux
val_enjeux= Matrix(m,n,[3,1.5,2,0,0,0,5,
2,3,2,3,2,0,0,
0,1,1,1,0,0,0,
0,3,3.5,4,1,3,0,
1,0.5,0.5,1,4,1,1.5,
1,1,1,1,1,4,1.5,
3,0,0,0,2,2,2
])
print 'Enjeux litteraux '

print lit_enjeux
print 'Enjeux valeurs '
print val_enjeux

#solidarites
solBDBD=Symbol('sol(BD,BD)')
solBDDG=Symbol('sol(BD,DG)')
solBDHQ=Symbol('sol(BD,HQ)')
solBDCOM=Symbol('sol(BD,COM)')

solDGBD=Symbol('sol(DG,BD)')
solDGDG=Symbol('sol(DG,DG)')
solDGHQ=Symbol('sol(DG,HQ)')
solDGBR=Symbol('sol(DG,BR)')
solDGL1=Symbol('sol(DG,DL1)')

solHQBD=Symbol('sol(HQ,BD)')
solHQDG=Symbol('sol(HQ,DG)')
solHQHQ=Symbol('sol(HQ,HQ)')
solHQDL1=Symbol('sol(HQ,DL1)')

```



```

solHQCUM=Symbol('sol(HQ,CUM)')

solBRDG=Symbol('sol(BR,DG)')
solBRBR=Symbol('sol(BR,BR)')
solBRDL2=Symbol('sol(BR,DL2)')
solBRCOM=Symbol('sol(BR,CUM)')

solDL1BD=Symbol('sol(DL1,BD)')
solDL1DG=Symbol('sol(DL1,DG)')
solDL1HQ=Symbol('sol(DL1,HQ)')
solDL1DL1=Symbol('sol(DL1,DL1)')
solDL1COM=Symbol('sol(DL1,CUM)')

solDL2BD=Symbol('sol(DL2,BD)')
solDL2BR=Symbol('sol(DL2,BR)')
solDL2DL2=Symbol('sol(DL2,DL2)')
solDL2COM=Symbol('sol(DL2,CUM)')

solCOMBD=Symbol('sol(CUM,BD)')
solCOMCOM=Symbol('sol(CUM,CUM)')

#valeurs numeriques des solidarites
#remplissage en en ligne
val_sol= Matrix(n,n,[0.6,0.1,0.05,0,0,0,0.25,
0.2,0.6,0.05,0.05,0.1,0,0,
0.1,0.2,0.6,0,0.05,0,0.05,
0,0.15,0,0.6,0,0.2,0.05,
0.05,0.2,0.05,0,0.6,0,0.1,
0.05,0,0,0.15,0,0.7,0.1,
0,0,0,0,0.1,0.1,0.8
])
print 'solidarites valeurs'
print val_sol

#valeurs litterales des solidarites

lit_sol=Matrix(n,n,[solBDBD, solBDDG, solBDHQ, 0,0,0, solBDCUM,
solDGBD,solDGDG, solDGHQ, solDGBR, solDGD1, 0,0,
solHQBD, solHQDG, solHQHQ, 0,solHQDL1,0, solHQCUM,
0,solBRDG,0, solBRBR, 0,solBRDL2, solBRCOM,
solDL1BD, solDL1DG, solDL1HQ,0, solDL1DL1,0 ,solDL1COM,
solDL2BD, 0,0,solDL2BR,0, solDL2DL2, solDL2COM,
0, 0,0,0,0,0,solCOMCOM
])

print 'solidarites litterales'
print lit_sol
#il faut la transposer pour que le produit avec les impacts donne qqch de correct

lit_sol = lit_sol.T

```

```
#formules des fonctions d'effet de Soclab
```

```
#Quadratic = $(a/10)x*x+(b/10)x+c$
```

```
#Quadratic 2 =if (a!=90 && a!=-90){
#         double alpha = a * Math.PI/180;
#         r = Math.cos(alpha)/Math.sin(alpha);
#         }else
#         r=0;
#double val = r*(x+b)*(x+b)+c ;
```

```
#Sigmoid =double a = getParam("a");
#         double b = getParam("b");
#         double c = getParam("c") / 10 ;
#         double exp = Math.pow(Math.E, 2*c*x);
#         double exp2 = Math.pow(Math.E, -2*c*x);
#         return = a*(1/(1+exp)-1/(1+exp2)) + b ;
```

```
#Sigmoid 2 =
#double exp = Math.pow(Math.E, 2*(x+c));
#38         double exp2 = Math.pow(Math.E, -2*(x+c));
#39         return = a*(1/(1+exp)-1/(1+exp2)) + b ;
```

```
#Fonctions d'effet
```

```
#effets rf
ef_rfBD= 0.5* srf
ef_rfDG= srf
ef_rfHQ= srf
ef_rfBR= 0
ef_rfDL1= 0
ef_rfDL2= 0
ef_rfCOM=srf
```

```
# effets croissance controle
ef_ccBD= scc
ef_ccDG= -0.1*scc**2 + 1.1* scc +5
ef_ccHQ= -0.1*scc**2 + 1.1*scc + 5
ef_ccBR= (cos(-87*3.141592653589/180)/sin(-87*3.141592653589/180))*(scc+2)**2 + 2
ef_ccDL1= -0.1*scc**2 + 1.5*scc + 2
ef_ccDL2= (cos(-87*3.141592653589/180)/sin(-87*3.141592653589/180))*(scc+2)**2 + 2
ef_ccCOM=0
```

```
#effets applic international
ef_aiBD=0
ef_aiDG=sai
ef_aiHQ=sai
ef_aiBR= (cos(-87*3.141592653589/180)/sin(-87*3.141592653589/180))*(sai+2)**2 + 2
ef_aiDL1=sai
ef_aiDL2= (cos(-87*3.141592653589/180)/sin(-87*3.141592653589/180))*(sai+2)**2 + 2
ef_aiCOM=0
```

```
#effets appllic regional
ef_arBD=0
ef_arDG=0
ef_arHQ= 1.2*sar
ef_arBR=-1*sar
ef_arDL1=0
ef_arDL2= -1.1*sar
ef_arCOM=0
```

```
#effets applic Cali
```

```
ef_aCBD= 1*sac
ef_aCDG= 1*sac
ef_aCHQ= 1*sac
ef_aCBR=-1*sac
ef_aCDL1=1*sac
ef_aCDL2= -0.5*sac
ef_aCCOM= (cos(-86*3.141592653589/180)/sin(-86*3.141592653589/180))*(sac-4)**2 +
```

```
#effets applic local
```

```
ef_alBD= 1*sal
ef_alDG= 1*sal
ef_alHQ= 1*sal
ef_alBR=-1*sal
ef_alDL1=0.7*sal
ef_alDL2= -1*sal
ef_alCOM= (cos(-86*3.141592653589/180)/sin(-86*3.141592653589/180))*(sal-4)**2 +8
```

```
#effets lettre
```

```
ef_lBD=1*sl
ef_lDG=0
ef_lHQ=0
ef_lBR=0
ef_lDL1=1*sl
ef_lDL2=1*sl
ef_lCOM=-0.9*sl
```

```
#matrice d'effets litterale
```

```
effects = Matrix(m,n,[
ef_rfBD, ef_rfDG, ef_rfHQ, ef_rfBR, ef_rfDL1, ef_rfDL2, ef_rfCOM,
ef_ccBD, ef_ccDG, ef_ccHQ, ef_ccBR, ef_ccDL1, ef_ccDL2, ef_ccCOM,
ef_aiBD, ef_aiDG, ef_aiHQ, ef_aiBR, ef_aiDL1, ef_aiDL2, ef_aiCOM,
ef_arBD, ef_arDG, ef_arHQ, ef_arBR, ef_arDL1, ef_arDL2, ef_arCOM,
ef_aCBD, ef_aCDG, ef_aCHQ, ef_aCBR, ef_aCDL1, ef_aCDL2, ef_aCCOM,
ef_alBD, ef_alDG, ef_alHQ, ef_alBR, ef_alDL1, ef_alDL2, ef_alCOM,
ef_lBD, ef_lDG, ef_lHQ, ef_lBR, ef_lDL1, ef_lDL2, ef_lCOM])
```

```

#impacts bruts
impacte_bruts= Matrix(m,n, lambda i,j: effects[i,j]*lit_enjeux[i,j])
val_impacte_bruts= Matrix(m,n, lambda i,j: effects[i,j]*val_enjeux[i,j])

#Capacite d'action
temp=(impacte_bruts.T).tolist()
temp2=(val_impacte_bruts.T).tolist()
AC=zeros((n,1))
val_AC=zeros((n,1))

for i in range(len(temp)):
    for j in range(len(temp[i])):
        AC[i]+=temp[i][j]
        val_AC[i]+=temp2[i][j]

#Capacite d'actions et Satisfactions
#commenter la ligne suivant qu'on traite la CA ou la satisfaction

#satisfaction litterale
f = (lit_sol.T)*AC
#CA litterale
#f = AC
#satis numerique
g=(val_sol.T)*val_AC
#CA numerique
#g=val_AC

#matrice jacobienne

jacob= f.jacobian(Relations)
#print 'jacobien de f de taille ', len(jacob.tolist())
#print jacob

val_jacob=g.jacobian(Relations)

#print '####jacobien valeurs####'
#print val_jacob

#gradient des acteurs = les lignes de la jacobienne

#liste gradient litteraux
grad_actors=[]

```

```

#liste gradients numerique
val_grad_actors=[]

#gradient global
gg= Symbol ( 'gg' )
val_gg=[]

for index in range(n):

    print '\n\n'
    print '=====Gradients indiv===== %d ' % index
    print '-----gradient litteral de %s -----' %Actors[index]
    grad_actors.append(jacob[index,:])
    print latex(grad_actors[index])
    print '-----gradient valeur de %s -----' %Actors[index]
    val_grad_actors.append(val_jacob[index,:])
    print latex(val_grad_actors[index].evalf())
    print '\n\n'

print '=====Gradient global===== '
print '-----litteral-----',
#ATTENTION remplissage et taille en dur !!

gg= grad_actors[0]+grad_actors[1]+grad_actors[2]+grad_actors[3]+grad_actors[4]+grad_actors[5]
print gg
print '-----numerique-----',
val_gg=val_grad_actors[0]+val_grad_actors[1]+val_grad_actors[2]+val_grad_actors[3]+val_grad_actors[4]+val_grad_actors[5]
print val_gg


#instanciation pour des valeurs d'etats particulieres d'une expression litterale
#!/\
#Attention taille en dur
def apply(expr,v):
    res=expr.subs({srf:v[0],scc:v[1],sai:v[2],sar:v[3],sac:v[4],sal:v[5],sl:v[6]})
    return res.evalf()


#produits scalaires simples
def prod_scal(u,v):
    return u.dot(v)

def prod_scal_norm(u,v):
    return u.dot(v)/(u.norm()*v.norm())

```

```

#etat pour lequel on fait les calculs
#ATTENTION taille en dur
e=[9.983,6.254,9.537,-7.97,9.975,-7.924,-9.365]

val_num_actors=[]

for ind in range(n):
    val_num_actors.append(apply(grad_actors[ind],e))

val_numGG= apply(val_gg,e)
print 'gradient global calcule en l\'etat '
print 'etat '
print e
print 'gradient global valeur numeriques '
print val_numGG


#Matrice de controles , de dependance

#matrice C, 1 si controle , 0 sinon
mat_C= Matrix(m,n,[
1,0,0,0,0,0,0,
0,1,0,0,0,0,0,
0,0,1,0,0,0,0,
0,0,0,1,0,0,0,
0,0,0,0,1,0,0,
0,0,0,0,0,1,0,
0,0,0,0,0,0,1,0,
0,0,0,0,0,0,0,1])

#matrice de non dependance
#terme = 1 si ne depend pas 0 sinon
mat_D_bar = Matrix(m,n,[
0,0,0,1,1,1,0,
0,0,0,0,0,0,1,
1,0,0,0,0,0,1,
1,1,0,0,1,0,1,
0,0,0,0,0,0,0,
0,0,0,0,0,0,0,
0,1,1,1,0,0,0])

mat_D=ones((m,n))-mat_D_bar

#matrice de dependances pures
mat_D_prive_C= mat_D-mat_C

```

```

print '\n matrice des controles\n',mat_C
print '\nmatrice des dependances\n',mat_D
print '\nmatric des dependances pures\n',mat_D_prive_C

#dictionnaire des acteurs

acteurs={}
for i in range(n):
    acteurs [Actors [i]]=[ val_grad_actors [i],i]

#pour une dyade A-B, on examine les differents produits scalaires dans un etat e
# a et b sont deux gradients litteraux , e un etat
def dyade(act1,act2,e):

    nca=acteurs [act1][1]
    ncb=acteurs [act2][1]
    print '\n\n'
    print '=====
    print 'Analyse de la dyade',act1,nca,'-',act2,ncb,'dans l\'etat ', e
    print '=====
    #vecteurs gradients
    a=acteurs [act1][0]
    b=acteurs [act2][0]

    #application numerique pour transformer les termes en valeurs
    a = apply(a,e).evalf()
    b = apply(b,e).evalf()
    gg= apply(val_gg,e).evalf()

    #produit scalaire simple
    print '\nproduit scalaire du gradient de ',act1,' avec ',act2,' complet'
    print prod_scal(a,b)
    print 'produit scalaire du gradient de ',act1,' avec ',act2,'complet normalise'
    print prod_scal_norm(a,b)
    print '\nproduit scalaire de ',act1,' avec le gradient global'
    print prod_scal(a,gg)
    print 'produit scalaire normalise de ',act1,'avec le gradient global'
    print prod_scal_norm(a,gg)

    print '\nproduit scalaire de ',act2,' avec le gradient global'
    print prod_scal(b,gg)
    print 'produit scalaire normalise de ', act2,' avec le gradient global'
    print prod_scal_norm(b,gg)

    #communaute d'interets : produit scalaire sur D
    da= Matrix(m,1, lambda i,j: a[i]*mat_D[i,nca]).T
    db= Matrix(m,1, lambda i,j: b[i]*mat_D[i,ncb]).T

    print '\nCommunaute d\'interet (similarite des dependances) complete'
    print prod_scal(da,db)

```

```

print 'Communaute d\' interet normalisee '
print prod_scal_norm(da,db)

#synergie : produit scalaire de Ca et Db et inversement

ca=Matrix(m,1, lambda i,j: a[i]*mat_C[i,nca]).T
cb=Matrix(m,1, lambda i,j: b[i]*mat_C[i,ncb]).T

print '\n',act1,' peut il satisfaire ',act2,' et lui meme ? (Synergie) ver
print prod_scal(ca,db)
print act1,' peut il satisfaire ',act2,' et lui meme ? (Synergie) version
print prod_scal_norm(ca,db)

print '\n',act2,' peut il satisfaire ',act1,' et lui meme ? (Synergie) ver
print prod_scal(cb,da)
print act2,' peut il satisfaire ',act1,' et lui meme ? (Synergie) version
print prod_scal_norm(cb,da)

#co dependance pure (similarite sur D \{C}
cdpa=Matrix(m,1, lambda i,j: a[i]*mat_D_prive_C[i,nca]).T
cdpb=Matrix(m,1, lambda i,j: b[i]*mat_D_prive_C[i,ncb]).T

print '\nCodependance pure complete '
print prod_scal(cdpa,cdpb)
print 'Codependance pure normalise '
print prod_scal_norm(cdpa,cdpb)

#definition de l'etat
e=[9.983,6.254,9.537,-7.97,9.975,-7.924,-9.365]

# application  $\tilde{A}$  e de la matric d'impacts
impacts= apply(val_impacte_bruts,e)

#transposer pour le produit matriciel avec la matrice de sol
impacts=impacts.T

print '#==IMPACTS==#####'
print impacts

impacte_e_all= (val_sol)*impacts
print '#==IMPACTS==SOLIDAIRES==#####'
print impacte_e_all

vect_satis=[0]*n
vect_CA=[0]*n
# remplissage des vecteurs de CA et de satisfaction
for i in range(n):
    for j in range(m):
        vect_satis[i]+=impacte_e_all[i,:][j]
        vect_CA[i]+=impacts[i,:][j]

print 'Satisfaction dans l\'etat '

```



```

print Matrix(vect_satis)
print 'CA dans l\'etat '
print Matrix(vect_CA)

#Examen de toutes les dyades
for i in range(n):
    for j in range(i+1):
        if i != j and j!=n+1:
            dyade(Actors[i], Actors[j],e)

```

## 10.2 Script Python qui réalise l'ACP pour les résultats de simulation

**N.B.** : Il s'agit d'une version provisoire, qui nécessiterait des modifications pour fonctionner directement sur les fichiers générés par SocLab. Le codage des caractères est aussi défaillant.

```
script_simu<-function(namefile){
  #namefile= nom du fichier Ã  analyse

  #recupere la matrice
  data_sim=read.delim(namefile)
  #skip la premiere ligne si besoin
  #data_sim=read.delim(name, skip=1)

  #prompt satis ou etats
  cat("=====\n")
  cat(" Satis (1) ou Etats (2)\n")
  choixuser<-scan("", nmax=1)

  #prompt satis ou etats
  cat("=====\n")
  cat(" Garder nb_steps (1) ou retirer nbsteps (2)\n")
  keep_nbsteps<-scan("", nmax=1)

  if(keep_nbsteps==2){
    cat(" collonne nbsteps retiree\n")
    data_sim<-data_sim[, -1]
  }

  #compte le nombre d'acteurs et de relations
  # et trouves les index des variables seuils a supprimer
  nba <-0
  nbr <-0
  index_seuils=c()
  for (i in 1:length(names(data_sim))){
    #index des seuils , nombre d'acteurs
    if(isTRUE(grep(" SeuilSatisfaction", names(data_sim)[i])==1)){
      nba <- nba+1
      index_seuils<-append(index_seuils , i , length(index_seuils))
    }
  }
  #nombre de relations
  if(isTRUE(grep(" State", names(data_sim)[i])==1)){
    nbr <- nbr + 1
  }

}#for

cat(" organisation Ã ", nba, "\ acteurs et ", nbr, " relations\n")

data_sim<-data_sim[, -index_seuils]
data_sim
#data_sim<-data_sim[, -(length(names(data_sim)))]
```

```

cat(names(data_sim),"\n")

#suprresions de collonne runs
data_sim<-data_sim[,-1]
cat("####intitules des colonnes gardees####\n")
cat(names(data_sim),"\n")

cat("data actors\n")
if (keep_nbsteps==1){
  cat("#####\n")
  #data_act <-data_sim[,1:(nba+1)]
  cat("=====\n")
  #cat(names(data_sim[,1:(nba+1)]))
}
else{

  data_act <-data_sim[,1:nba]
}
cat("data rel\n")
cat(names(data_sim),"\n")
if (keep_nbsteps==1)
{
  data_rel <-data_sim[,-(2:(nba+1))]
  cat("data_rel_apres\n")
  cat(names(data_rel),"\n")
}
else{
  data_rel <-data_sim[, (nba+1):(nba+nbr)]
}

cat("colonnes data_rel")
cat(names(data_rel),"\n")

#nettoyage des dev
while( length(dev.list())!=0){
  dev.off()
}
#definition des donnees Ã afficher
if(choixuser==1){
  cat("stats sur les satis\n")
  if(keep_nbsteps==1)
  {
    nbdisplay<-nba+1
  }
  else{
    nbdisplay<-nba
  }
  d<-data_act
  title<- "Histogram of Actors satisfaction"
}

```

```

else{
  if(choixuser==2){
    cat(" stats sur les etats\n")
    if(keep_nbsteps==1){
      nbdisplay<-nbr+1
    }
    else{
      nbdisplay<-nbr
    }

    d<-data_rel
    title<-"Histogram of Relations states"
  }
  else{
    stop("\nmauvais argument, relancer le script\n")
  }
}

#declaration device
# et dessin des histogrammes
#4 histogrammes par device
cat("====layouts====\n")
#layout et histogramme par paquets de 6
for (i in nbdisplay%%8){
  x11()
  dev.set(i)
  layout(matrix(1:8,2,4))
  layout.show(8)
  for (j in 1:8){
    cat(" histogramme",j," ",names(d)[j],"\n")
    hist(d[,j], xlab=names(d)[j], main= paste( names(d)[j]))
  }
  mtext( title , side=3, outer=TRUE)
}
#layout et histo pour les variables restantes
if (nbdisplay%%8 != 0)
{
  x11()
  layout(matrix(1:8,2,8))
  layout.show(nbdisplay%%8)
  for (j in (nbdisplay-nbdisplay%%6:nbdisplay)){
    hist(d[,j], xlab=names(d)[j], main=paste(" Histogram of",names(d)[j]))
  }
}

#prompt export en pdf
cat("=====\n")
cat(" Exporter en pdf ? Oui (1) Non (2)\n")
cat("=====\n")
export<-scan("",nmax=1)
if (export==1){

```

```

        for (i in 1:length(dev.list())){
            dev.set(dev.list()[i])
            cat(" device set:",dev.list()[i],"\n")
            if (choixuser==1){
                pdfname<-paste(" Histo_satis",i,".pdf")
            }
            else{
                pdfname<-paste(" Histo_state",i,".pdf")
            }
            dev.print(device=pdf, file=pdfname)
            cat(" fichier ", pdfname," genere\n")
        }

    }
    else{ if (export!=2){
        stop("\nmauvais argument, relancer le script\n")
    }
}#ifelse export
#nettoyage des dev
while( length(dev.list())!=0){
    dev.off()
}

libloaded<-library(FactoMineR,logical.return=TRUE, quietly=TRUE, verbose=F)
if (libloaded){

# on centre sans reduire par defa
#TODO check scale.unit
if (choixuser==1){
    resacp<-PCA(d,scale.unit=TRUE,ncp=nba,graph=TRUE)
}
else{
    resacp<-PCA(d,scale.unit=TRUE,ncp=nbr,graph=TRUE)
}

}
else{
    stop("\n=====library FactoMiner manquante\nInstallation")
}

#objet resultat de la fonction
res_obj<-list(data_sim=data_sim, data_act=data_act, data_rel=data_rel, acp=
#res_obj

}#end functionq

```